



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI RÁMU KOČKY MOSTOVÉHO LICÍHO JEŘÁBU O NOSNOSTI 120/40T - 21M

VERIFICATION OF CARRYING CAPACITY CRAB FRAME OF LADLE CRANE 120/40T - 21M

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAN HANZELKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jan Hanzelka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Posouzení únosnosti rámu kočky mostového lícího jeřábu o nosnosti 120/40t - 21m**

v anglickém jazyce:

**Verification of carrying capacity crab frame of ladle crane 120/40t - 21m**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Posouzení únosnosti a únavové pevnosti rámu kočky mostového lícího jeřábu.

Cíle diplomové práce:

Proved'te analýzu a posouzení nosného rámu jeřábové kočky s využitím skořepinového a prutového modelu MKP.

Vypracujte technickou zprávu:

- pevnostní výpočet
- výpočet únavové pevnosti
- další výpočty dle vedoucího DP

Seznam odborné literatury:

Feyrer K.: Drahtseile, ed. Springer, Berlin, 2000, s. 468, ISBN-10: 3-540-67829-8, ISBN-13: 978-3-540-67829-8

Hoffmann, K., Krenn, E., Tanker, G.: Fördertechnik 1, ed. Oldenbourg Industrierla, 2005, s. 240, ISBN-10: 3-8356-3059-8, ISBN-13: 978-3-8356-3059-8

Hoffmann, K., Krenn, E., Tanker, G.: Fördertechnik 2, ed. Oldenbourg Industrierla, 2006, s. 320, ISBN-10: 3-8356-3060-1, ISBN-13: 978-3-8356-3060-4

Osterrieder P.; Richter S.: Kranbahnträger aus Walzprofilen, ed. Vieweg, 2002, s. 299, ISBN-10: 3-528-12559-4, ISBN-13: 978-3-528-12559-2

ČSN 27 0103: Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů, 1989

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 18.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá ocelovou konstrukcí rámu kočky mostového liciho jeřábu o nosnosti 120 a 40 tun s výškou zdvihu 21 metrů. Cílem zadané práce je analýza a posouzení nosného rámu jeřábové kočky při zatížení na únavu dle ČSN 27 0103/89. Pro tuto analýzu je použit skořepinový a prutový model.

Diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Královopolská a.s.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with a steel construction of crab frame of ladle crane with lifting capacity of 120 and 40 tons and maximum lifting height of 21 meters. The aim of the work is analysis and assessment of the support frame of crane with a load of fatigue according to ČSN 27 0103/89. For this analysis is used thin shell and beam model.

The diploma thesis was developed in cooperation with the Královopolska a.s. company.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rám kočky, mostový jeřáb, lici jeřáb, únavu, metoda konečných prvků, tenkostěnná skořepina, prut

## **KEYWORDS**

Crab frame, crane, ladle crane, fatigue, FEM (finite elements method), thin shell, beam

## **Bibliografická citace**

HANZELKA, J. Posouzení únosnosti rámu kočky mostového liciho jeřábu o nosnosti 120/40t - 21m. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a uvedl jsem všechny zdroje a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Diplomová práce je školním dílem a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkanem FSI VUT v Brně.

V Brně dne: .....

Podpis .....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za jeho ochotu, věcné připomínky, materiální podporu a odborné vedení při zpracování této závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Přikrylovi, zaměstnanci firmy Královopolská a.s., za jeho odbornou pomoc. Poděkování patří taktéž i mé rodině a mým blízkým za jejich podporu v průběhu celého mého studia.

# Obsah

<i>Zadání .....</i>	<i>2</i>
<i>Abstrakt .....</i>	<i>4</i>
<i>Bibliografická citace .....</i>	<i>5</i>
<i>Prohlášení .....</i>	<i>6</i>
<i>Poděkování .....</i>	<i>7</i>
<i>Obsah .....</i>	<i>8</i>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Jeřáb .....</b>	<b>11</b>
2.1 Sloupový jeřáb.....	11
2.2 Jeřáby s otočným sloupem .....	12
2.3 Jeřáby nástěnné.....	12
2.4 Vozidlový jeřáb .....	13
2.5 Plovoucí jeřáb.....	14
2.6 Stavební jeřáb .....	15
2.7 Mostový jeřáb.....	16
2.7.1 Mostový jeřáb běžný (normální) .....	17
2.7.2 Mostový jeřáb běžný jednonosníkový.....	17
2.8 Portálový jeřáb.....	18
2.8.1 Portálový (poloportálový) jeřáb s kočkou pro malá a střední rozpětí .....	19
2.8.2 Nepojízdné portálové jeřáby.....	19
2.8.3 Pojízdný portálový jeřáb.....	19
<b>3. Parametry mostového jeřábu .....</b>	<b>21</b>
3.1 Popis kočky .....	21
3.2 Provozní zařazení.....	22
3.3 Hmotnosti jednotlivých zařízení.....	22
<b>4. Rozbor zatížení .....</b>	<b>24</b>
4.1 Přehled zatížení.....	24
4.2 Součinitelé zatížení.....	25
4.2.1 Zatížení od vlastní hmotnosti .....	25
4.2.2 Zatížení od břemena .....	25
4.2.3 Zatížení od svislých setrvačných sil vznikající při zvedání nebo spouštění břemena..	25
4.2.4 Zatížení od svislých setrvačných sil vznikající při pojíždění .....	26
4.2.5 Zatížení od setrvačných sil vznikajících při rozjíždění a brzdění .....	27



<b>5.</b>	<b><i>Pevnostní výpočet</i></b> .....	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Materiál a výpočtová pevnost</b> .....	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Popis modelu</b> .....	<b>28</b>
5.2.1	Prutový model .....	28
5.2.1.1	Nahrazení pojezdových kol u prutového modelu .....	31
5.2.2	Skořepinový model.....	31
5.2.2.1	Nahrazení pojezdových kol u skořepinového modelu .....	32
5.2.2.2	Nahrazení zatížení .....	33
<b>5.3</b>	<b>Zatížení konstrukce</b> .....	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>Okrajové podmínky</b> .....	<b>35</b>
<b>5.5</b>	<b>Návrhová zatížení dle ČSN 27 0103</b> .....	<b>36</b>
5.5.1	Zatížení od vlastní hmotnosti a zatížení od setrvačných sil rámu kočky .....	36
5.5.2	Základní kombinace zatížení pro jmenovité břemeno 120t .....	37
5.5.3	Kombinace zatížení při únavě pro jmenovité břemeno 120t.....	38
5.5.4	Základní kombinace zatížení pro jmenovité břemeno 40t .....	38
5.5.5	Kombinace zatížení při únavě pro jmenovité břemeno 40t.....	38
5.5.6	Základní kombinace zatížení s rozjezdem nebo brzděním mostu nebo kočky se jmenovitým břemenem 120t.....	38
5.5.7	Základní kombinace zatížení s rozjezdem nebo brzděním mostu nebo kočky se jmenovitým břemenem 40t.....	39
<b>5.6</b>	<b>Zatěžovací stavy</b> .....	<b>41</b>
<b>6.</b>	<b><i>Únosnost při únavě</i></b> .....	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Prutový model</b> .....	<b>42</b>
6.1.1	Průřez A.....	43
6.1.2	Průřez B .....	45
6.1.3	Průřez C .....	45
6.1.4	Průřez D.....	45
<b>6.2</b>	<b>Skořepinový model</b> .....	<b>46</b>
6.2.1	Průřez A.....	46
6.2.2	Průřez B .....	48
6.2.3	Průřez C .....	48
6.2.4	Průřez D.....	49
<b>7.</b>	<b><i>Závěr</i></b> .....	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b><i>Seznam použitých zdrojů</i></b> .....	<b>51</b>
<b>9.</b>	<b><i>Seznam použitých zkratk a symbolů</i></b> .....	<b>53</b>
<b>10.</b>	<b><i>Seznam příloh</i></b> .....	<b>54</b>
<b>11.</b>	<b><i>Přílohy</i></b> .....	<b>55</b>

# 1. Úvod

Mostové a portálové jeřáby jsou velmi oblíbeným řešením v oblasti manipulace s nákladem. Vyznačují se vysokou produktivitou, úsporností a spolehlivostí. Mají velmi dobrou poziční přesnost, hladký a tichý provoz jeřábových mechanismů a vysoký rozsah kontroly rychlosti. Portálové a mostové jeřáby jsou určeny pro použití zejména v podmínkách, kde není možno instalovat klasické výškové jeřáby a do prostor s celkově nižší výškou. Mohou být provozovány v různých podmínkách a uplatnění naleznou v celé řadě průmyslu, zejména však tam, kde je potřeba efektivně řešit v závislosti na kvalitě a provozuschopnosti manipulaci s jakýmkoliv břemenem. Výběr takového zařízení vždy závisí na prostředí, ve kterém bude používáno, ale také na požadované výšce zdvihu nákladu a na celkové potřebě délky pojezdového ramene. Portálové a mostové jeřáby nejčastěji pojíždí po kolejnicích, které jsou připevněny na zpevněném podlaží. U takových výrobků je pak široké použití i pro venkovní prostory. [9]

Úkolem diplomové práce je analýza a posouzení nosného rámu jeřábové kočky podle normy ČSN 27 0103/89. Tato norma je v současné době již narazena novější normou ČSN EN 13001. V této práci se bude používat vydání z roku 1989, neboť zadávající firma, Královopolská a.s., se touto normou doposud řídí.



Obr. 1-1

*Obr. 1.1 Licí jeřáb [10]*

## 2. Jeřáb

Jeřáb je dopravní stroj z kategorie zdvihadel, který zdvihá a poté přemísťuje těžké předměty respektive břemena, obvykle pomocí kladnice a háku na laně. Používá se ve všech oblastech průmyslu, zejména v průmyslu těžkém, dále pak ve stavebnictví. Příbuznými stroji jeřábu jsou vrátky a nákladní zdviže.[11]

### 2.1 Sloupový jeřáb

Sloupové jeřáby (Obr. 2-1) patří spolu s jeřáby točnicovými k nejstarším druhům jeřábů, neboť jeřáby otočné jsou historicky mnohem starší než jeřáby pojízdné. [6]

Otáčením výložníku kolem osy svislého sloupu při současném sklápění nebo vztyčování může jeřáb obsáhnout částečně nebo úplně plochu kruhu, jehož poloměr je dán největším vyložním jeřábu. Podle konstrukce rozlišujeme dvě hlavní kategorie sloupových jeřábů, a to s nehybným (tj. neotočným) sloupem a s otočným sloupem, přičemž v obou případech nehybným nebo otočným prvkem může být jak poměrně krátký, jednoduchý prut (sloup), tak i vysoká věžová příhradová konstrukce (stožár). Výložník je vzhledem ke sloupu pevný, tj. nemění svůj sklon k němu, nebo stavitelný, lze jej vztyčovat a sklápět. Je-li pevný výložník vodorovný, pojíždí po něm mnohdy kočka, čímž se mění vyložení. [6]



Obr. 2-1 Sloupový jeřáb [12]

## **2.2 Jeřáby s otočným sloupem**

Výložník je pevně spojen se sloupem, který se otáčí ve dvou ložiskách, horním, zatíženém jen radiálně, a dolním, které přenáší jak radiální, tak axiální zatížení. [6]

V nejstarším provedení byl sloup jeřábu co nejjednodušší, horní ložisko bylo připevněno na stěnu dílny, skladiště nebo na jinou podpěrnou konstrukci budovy, dolní ložisko bylo v úrovni podlahy nebo terénu nádvoří; jeřáby tohoto druhu se nazývají nástěnné. [6]

Je-li horní ložisko drženo dvěma vzpěrami nebo kotveno lany, jde o tzv. deriky (označované též jako jeřáby stožárové). [6]

Horní ložisko může být též uloženo v neotočné, poměrně vysoké a mohutné příhradové konstrukci tvaru věže, která může být stacionární nebo pojízdná, to jsou věžové jeřáby s otočným sloupem. [6]

Otočný sloup mají i pojízdné konzolové jeřáby s otočným výložníkem, otočné do  $180^\circ$  nebo do  $360^\circ$ . [6]

## **2.3 Jeřáby nástěnné**

Výložník nástěnného jeřábu (Obr. 2-2) je otočný zpravidla v rozmezí do  $180^\circ$ , na rozích zdí nebo jiných nosných konstrukcí až do  $270^\circ$ . Výjimečně se výložník otáčí o celých  $180^\circ$ , pak musí být horní ložisko upevněno ve stropě. Nástěnné jeřáby mají nosnost od 1 do 3t, parametr do 10t (s ohledem na zatížení stěny), výjimečně více. Při vyložení od 4 do 8 m mívá jeřáb i jednoduchou kočku, taženou lanem nebo řetězem, takže jeho vyložení je proměnné. [6]

Pohon zdvihacího ústrojí bývá často ruční, při stálém provozu elektrický. Pak bývá na výložníku jeřábu elektrický kladkostroj nebo visutá kočka kladkostrojového typu. Pohon lana nebo řetězu táhnoucího kočku je ruční. Jeřáb se otáčí rovněž ručně, zpravidla jen tahem za hák nebo kladnici. [6]

Nástěnných jeřábů se používá na skládkách, ve skladištích, na rampách skladišť a v říčních přístavech. [6]



Obr. 2-2 Jeřáb nástěnný [13]

## 2.4 Vozidlový jeřáb

Otočné jeřáby točnicové, někdy též sloupové, obvykle se stavitelným výložníkem, uložené na vozidlech zvlášť pro ně konstruovaných, s nimiž tvoří celek, nazýváme souhrnně jeřáby vozidlové. Samotný jeřáb bez vozu je tzv. otočný svršek, zejména má-li točnici. [6]

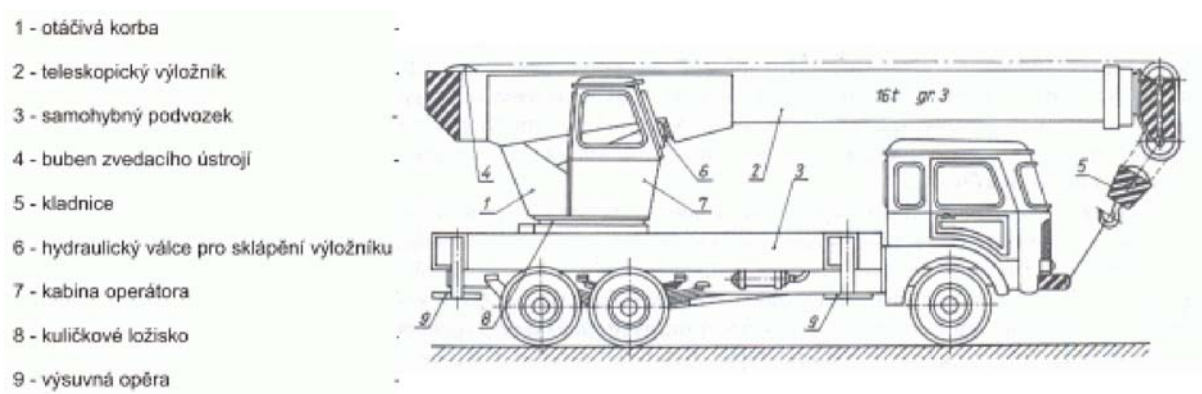
Vozidlové jeřáby (Obr. 2-3) nemají zvláštní samostatné jeřábové dráhy jako ostatní druhy pojízdných jeřábů a pojíždějí po takových drahách nebo cestách, pro jaké je konstruován jejich vůz. [6]

Proto dělíme vozidlové jeřáby podle druhu jízdní dráhy a podle konstrukce vozu

- jeřáby kolejové, s vozem na železničních kolech,
- jeřáby s vozem na pneumatikách (silniční, dílenské),
- jeřáby s vozem na pásech (terénní).

Vozidlové jeřáby pracují většinou ve značně velkém a proměnném okruhu působnosti, neboť se mohou rychle přemísťovat i na větší vzdálenosti. Mají obvykle vlastní zdroj poháněcí energie, např. spalovací motor, dieselelektrický agregát, nebo i akumulátor. Jeřáby

pracující jen ve vymezeném prostoru, např. nádvorní a dílenské, mohou být poháněny proudem přímo ze sítě. [6]



Obr. 2-3 Vozidlový jeřáb [14]

Otočný svršek jeřábu (1) je uložen na kruhové kolejnici, a to válečkovým věncem, oběžnými koly nebo kuličkovým ložiskem (8) značné velikostí. Proti klopícím momentům se otočná část jeřábu zajišťuje středním čepem nebo záchytnými kladičkami. Pro namáhání válečků jsou výhodnější záchytné kladičky, kde tlak na váleček je menší. [6]

Válečkový věnec může mít válečky kuželové nebo válcové a je zpravidla dělený. Po obvodu věnce rovnoměrně rozdělené válečky přenášejí svislé síly z otočné části do vozu a při otáčení jeřábu se odvalují; vodící čepy válečků jsou odlehčeny a svislé síly nepřenášejí. [6]

## 2.5 Plovoucí jeřáb

Podle účelu a podle druhu práce se plovoucí jeřáby rozdělují na:

- překládací - k překládání z lodí do říčních člunů a naopak,
- montážní - v loděnicích,
- havarijní - ke zdvihání potopených lodí,
- stavební - pro stavbu přístavních hrází, nábrežních zdí, budov těsně na nábreží apod.

Podle nosnosti a podle vlastností překládaného materiálu lze plovoucí jeřáby rozdělit do dvou skupin: jeřáby pro těžká jednotlivá (kusová) břemena a jeřáby pro překládání hromadných hmot sypných. Tyto jeřáby se navzájem liší konstrukcí. [6]

Nejstarší motoricky poháněné plovoucí jeřáby pro jednotlivá těžká břemena byly tzv. jeřáby nůžkové, které premisťovaly břemeno kyvným pohybem výložníku, skládajícího se ze

dvou vzpěr, spolu nahoře spojených na způsob obráceného písmene V. Měly vyložení přes okraj pontonu až 12 m a nosnost až 50t. Pro těžší břemena a větší vyložení i zdvihy se později stavěly rozměrnější jeřáby na stejném principu, tj. zůstával pouhý sklápěcí pohyb bez otáčení. [6]

## 2.6 Stavební jeřáb

Stavebními jeřáby v širším slova smyslu označujeme jeřáby používané ve stavebnictví, a to jak na staveništi, tak ve výrobě stavebních dílů i ve výrobě stavebních hmot. Takto definované stavební jeřáby patří do souboru stavebních strojů a počítáme mezi ně téměř všechny dosud popsané typy jeřábů. [6]

Stavebními jeřáby v užším slova smyslu pak označujeme jen ty typy jeřábů, které se používají výhradně ve stavebnictví a které do jiných oborů pro své specifické vlastnosti nepronikly. Pro své výhodné technickoekonomické charakteristiky se v dnešním stavebnictví používají ve větším měřítku z velkého počtu vyvinutých konstrukcí jen čtyři hlavní typy:

- otočný věžový stavební jeřáb
- neotočný portálový jeřáb,
- derikový jeřáb kotvený lany nebo derikový jeřáb třínožkový,
- šplhací jeřáb.



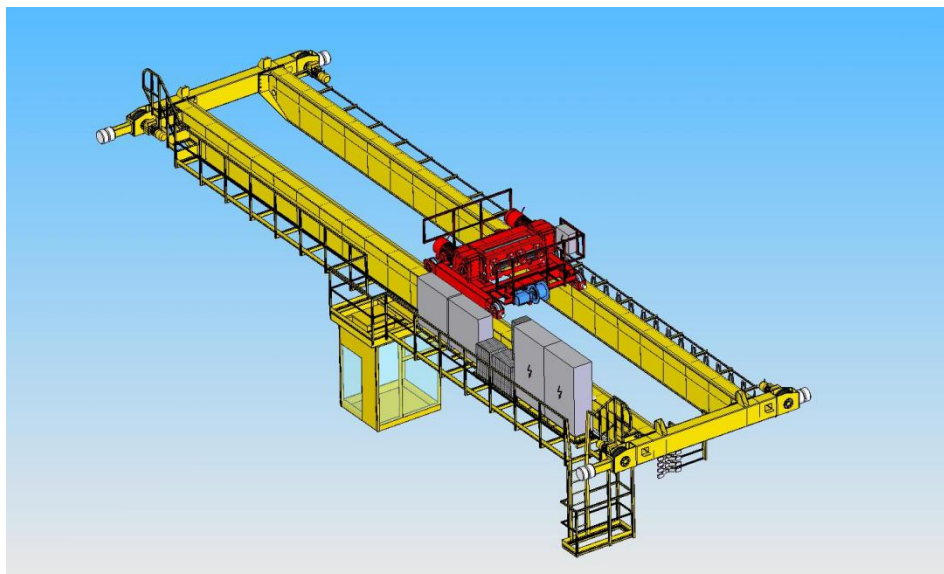
Obr. 2-4 Věžový jeřáb [15]

Nynější konstrukční pojetí (Obr. 2-4) vychází z klasické konstrukce starších věžových jeřábů, přičemž sleduje tuto koncepci: odstranit zadní protivýložník s vyvažovacím závažím, aby nevadil při otáčení jeřábu, snížit těžiště jeřábu, zmenšit moment setrvačnosti rotujících hmot při otáčení, umožnit jízdu po kolejích v zatáčce, usnadnit a zkrátit montáž, zajistit rychlou a bezpečnou dopravu po silnici a umožnit jemné usazování břemen. [6]

## 2.7 Mostový jeřáb

Mostový jeřáb (Obr. 2-5) je stacionární zařízení určené pro zvedání břemen ve výrobních halách, případně překladištích zboží a materiálů a podobných míst. Pomocí tohoto typu jeřábu se přesunují břemena ve svislém a vodorovném směru po obdélníkové manipulační ploše.

Hlavními částmi jeřábu jsou jeřábový most a kočka nebo vozík. Jeřábový most se skládá ze dvou hlavních nosníků s pojezdovými koly mostu, a dále z příčníků s kolejnicemi pro pojezd kočky. Jeřábová kočka přenáší na tyto příčníky všechna zatížení jak od své vlastní hmotnosti, tak od zvedaného břemena. Rám kočky je tvořen ze svařovaných plechů a tím vzniká nosná konstrukce pro zařízení zvedacího a pojezdového systému. Do zvedacího zařízení patří motory, brzdy, převodovky, lanové bubny, kladky. Do pojezdového systému patří pojezdová kola, motor s převodovkou a brzdou.



Obr. 2-5 Mostový jeřáb [16]



### 2.7.1 Mostový jeřáb běžný (normální)

U běžných mostových jeřábů se břemeno zdvihá vždy hákem, ať již pomocí vázacích prostředků, nebo břemenového magnetu či drapáku zavěšeného na háku. Nerozhoduje také, má-li kočka jen jeden nebo více háků (hlavní a pomocný zdvih). [6]

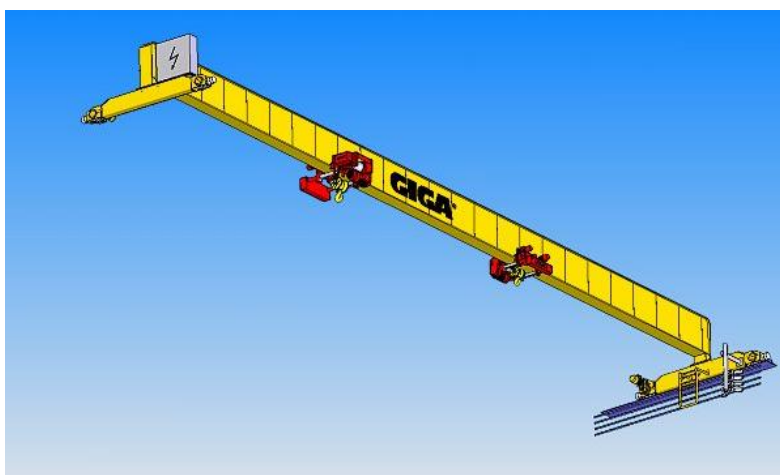
Běžné mostové jeřáby pojíždějí po horních plochách kolejnic jeřábové dráhy a mohou být jednonosníkové nebo vícenosníkové. [6]

### 2.7.2 Mostový jeřáb běžný jednonosníkový

Uplatňují se v lehkých provozech s občasným použitím. Při nosnostech do 1 tuny a malých rozpětích (asi do 7 m) nemívají mechanické pojízděcí ústrojí. Jeřáb se posunuje tak, že se zatáhne za lanko uchycené na mostě. V tom případě jsou pojízděcí kola na valivých ložiskách. Po spodních přírubách hlavního nosníku pojíždí jednoduchý vozík se zavěšeným nebo vestavěným kladkostrojem. [6]

Při nosnostech od 1 tuny mají tyto jeřáby samostatný mechanický pohon, ovládaný po obou stranách mostu ručními řetízky z podlahy a zpravidla také kladkostroj s mechanickým posuvem. [6]

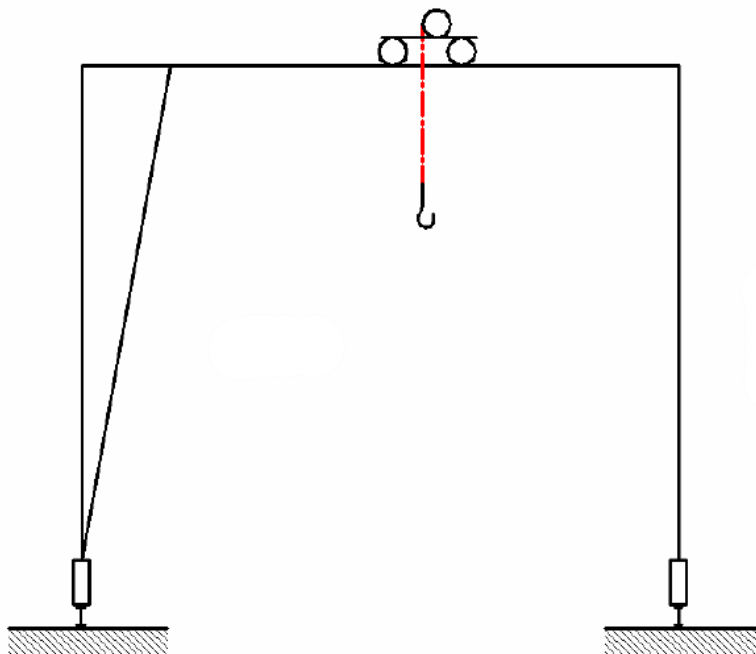
Jednonosníkové mostové jeřáby (Obr. 2-6) s elektrickým kladkostrojem měly zpravidla most z válcovaných profilů a centrální pohon pojízděcích kol. Dnešní moderní konstrukce již mají most ze svařovaných profilů a rozdělený pohon s přírubovými motory. [6]



Obr. 2-6 Mostový jeřáb jednonosníkový [17]

## 2.8 Portálový jeřáb

Portálové jeřáby (Obr. 2-7) mají nosnou konstrukci ve tvaru portálu, čili most jeřábu je uložen na dvou vlastních zvýšených podpěrách (nohách) a jeřábová dráha leží na zemi. Poloportálový jeřáb má jen jednu zvýšenou podpěru a druhá větev jeřábové dráhy je položena na budově, opěrné zdi apod., zpravidla až ve výši jeřábového mostu. [6]



Obr. 2-7 Portálový jeřáb – schéma [7]

Podle konstrukce a účelu rozlišujeme portálové a poloportálové jeřáby s kočkou pro malá a střední rozpětí, portálové a poloportálové jeřáby otočné (přístavní) a portálové jeřáby pro velká rozpětí (překládací mosty). [6]

Portálové jeřáby pracují zpravidla pod širým nebem na skládkách materiálu v průmyslových závodech, na stavbách, v přístavech a v loděnicích. Jejich práce je velmi často omezena jen na pohyby kočky nebo otočného výložníku, pojezd celého jeřábu je jen občasný a na krátké vzdálenosti. Proto bývají pojízdné rychlosti těchto jeřábů malé, asi od 12 do 30 m/min (větší rychlosti jsou výjimkou). [6]

Most portálového jeřábu může být bez převislých konců nebo má jeden či oba konce (ramena) převislé, výhodné u delších mostů, kde se sblížením podpěr ušetří na váze mostu. Někdy se převislým koncem zvětší potřebný dosah pracovního pole, např. u jeřábů nábrežních, jejichž převislý konec zasahuje nad vodu. [6]

### 2.8.1 Portálový (poloportálový) jeřáb s kočkou pro malá a střední rozpětí

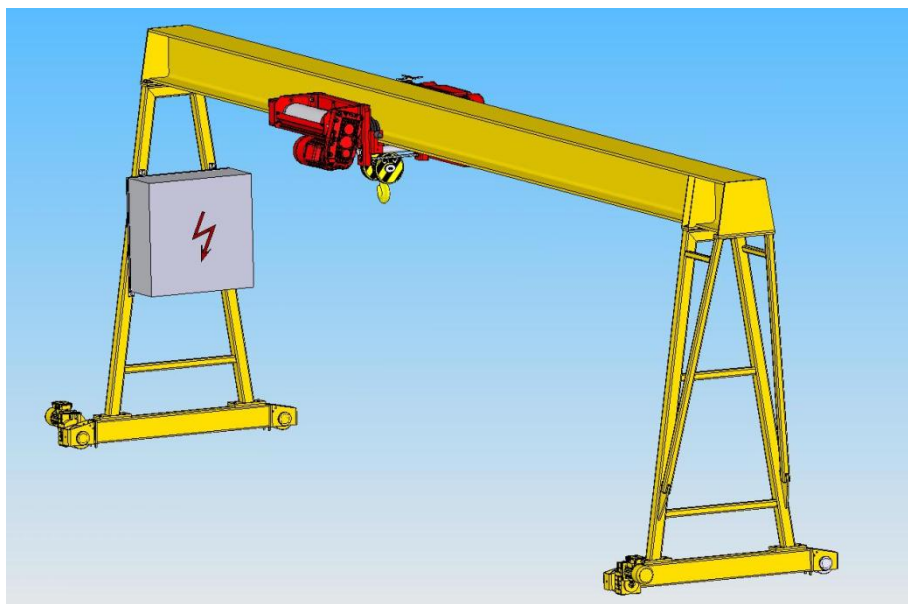
Do rozpětí portálu asi 20 m se říká těmto jeřábům často jeřáby „kozové“ a bývají i bez pojezdu. Při rozpětích přes 30 m je řadíme již mezi jeřáby překládací s větším rozpětím. Podle druhu kočky a jejího umístění jsou portálové jeřáby s kočkou visutou, s kočkou pojíždějící nahoře po mostě a s kočkou pojíždějící uvnitř mostu. [6]

### 2.8.2 Nepojízdné portálové jeřáby

Tyto jeřáby mohou obsluhovat jen velmi úzký pracovní prostor pod vlastním mostem, a proto se mohou uplatnit jen tam, kde nějaká vozidla břemena pod most jeřábu přivážejí, nebo je odtud odvázejí. Nejčastěji mají pouze ruční pohon s pojízdným kladkostrojem nebo s taženou kočkou, výjimečně pro větší nosnosti pohon elektrický. Do nosnosti asi se jich užívá k nakládání a vykládání vagónů na nádražích; mají obvykle rozpětí přes dvě koleje, aby mohly překládat zboží z jednoho vagónu do druhého nebo z vagónů do nákladních aut a naopak. Obě nohy se trvale připevní k betonovému základu kotevními šrouby. [6]

### 2.8.3 Pojízdný portálový jeřáb

Nejjednodušší jsou ruční montážní jeřáby (Obr. 2-8) s pojízdným kladkostrojem do nosnosti asi 3t a rozpětí asi 4 m. Most je obvykle nosník T, nohy bývají svařeny rovněž z nosníků T nebo U, často také z trubek. Těchto jeřábů se užívá nejčastěji k montážním pracím při opravách motorových vozidel a nemají proto vlastní jeřábovou dráhu. Přemísťují se ručním posunem na vlastních kolech po rovné, dostatečně tvrdé podlaze. [6]



Obr. 2-8 Pojízdný portálový jeřáb [18]

Portálové jeřáby s elektrickým pohonem mohou mít podobně jako jeřáby mostové kočku s hákem, magnetem nebo drapákem. Jeřáby s hákem mohou mít nosnost až 400 t a rozpětí přes 75 m, jeřáby drapákové nemívají nosnost větší než 25 t, avšak jejich rozpětí dosahuje mnohdy až 120 m. [6]

Portálové jeřáby s visutou kočkou jsou jeřáby většinou bez převislých konců, s nosností do 5 t, s elektrickou visutou kočkou pojíždějící po spodních přírubách nosníku T. Má-li být možnost tyto jeřáby přemísťovat na různá pracoviště, konstruuje se jako samovztyčovací. [6]

Most portálu má dva plnostěnné nosníky spojené navzájem příčkami, na kterých je uprostřed zavěšen nosník T, po jehož spodních přírubách pojíždí elektrická visutá kočka. Pojížděcí rychlost portálu je 23 m/min. [6]

U samovztyčovacích portálových jeřábů jsou nohy kloubově připojeny k hlavním nosníkům mostu, takže celý portál se může smontovat naležato na zemi přímo na kolejích jeřábové dráhy a pak teprve vztyčit, a to buď montážními ručními nebo elektrickými vrátky, nebo navijáky vestavěnými trvale v nohách portálu. V tom případě jsou navijáky poháněny motory pojížděcího ústrojí jeřábu. [6]

### 3. Parametry mostového jeřábu

Předmětem této práce je výpočet rámu kočky mostového jeřábu. Mostový jeřáb má jeden hlavní zdvih o nosnosti 120 tun a jeden pomocný o nosnosti 40 tun. Rozpětí tohoto zařízení je 21 metrů. Jeřáb je určen pro převážení sochorů ve vnitřních prostorách ocelárny SSM Strážské. Mostový jeřáb a jeho rám kočky, který je řešen v této práci, se řadí do kategorie licích jeřábů. Tyto jeřáby musí odolávat vysokým teplotním zátěžím, teploty okolního prostředí se pohybují od  $-15^{\circ}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ , a musí splňovat vysokou bezpečnost provozu.

Licí jeřáb a kočka mají provozní parametry dle Tab. 3-1.

Tab. 3-1 Základní provozní parametry jeřábu a kočky

	Jeřáb	Kočka 120T/40T	
		ZDVIH 120T	ZDVIH 40T
Nosnost zdvihu [t]	120/40/10t	120t	40t
Rozpětí, rozchod [m]	21	6,2	
Rozvor [m]	9,8	4,755	
Počet hnacích / všech kol	4/8	2/4	
Rychlost pojezdu [m/min]	7 až 70	3 až 30	
Rychlost zdvihu [m/min]		0,4 až 4	0,8 až 8
Výška zdvihu [m]		20	21,5
Kolejnice		A100	
Ovládání	kabina pod mostem		

#### 3.1 Popis kočky

Kočka sestává z rámu kočky, pojezdu kočky a zdvihového ústrojí s traverzou. Zdvihové ústrojí je umístěno na rámu kočky, který je svařovaný z jednotlivých nosníků v tuhý celek. Kolem rámu kočky je připevněno ochranné zábradlí. Kočka pojíždí po čtyřech kolech, z nichž 2 jsou hnací a 2 jsou hnaná. Kola jsou opatřena nákolky, které vedou kola po hlavě kolejnice kočky.

Zdvihové ústrojí je umístěno na rámu kočky a sestává se ze zdvihu 120 tun a 40tun. Zdvih 120 tun obsahuje lanový buben  $\phi 1200$  mm s levým závitem, lanový buben  $\phi 1200$  mm s pravým závitem, 2 kusy spojky pružné brzděné  $\phi 400/320\text{-V}70/80$ , 2 kusy čelistové brzdy  $\phi 400 \times 160$ , 6 kusů kladek  $\phi 1000$  CM132186 a diferenciální převodovku FLENDER KPH, VEL.1168. Zdvih 40 tun je vybaven lanovým bubnem  $\phi 710$  mm, spojkou pružnou brzděnou

ø400/320-V70/80, čelist'ovou brzdou ø400x160, kladnicí 40 tun, 2 kusy kladek ø630/26,5-28 a převodovkou SEW X3FS200/B.

Stálé břemeno je prezentováno traverzou, která sestává z tělesa traverze, 2 kusů lamelového háku, 2 kusů uložení kladek, 2 kusů krytů kladek a 2 kusů čepů ø180.

### 3.2 Provozní zařazení

Provozní zařazení je předepsáno dle ČSN 27 0103. Pro řešený typ jeřábu je vypsáno níže:

zdvihová třída	H3
druh provozu	D1 (jeřáb se zařízením proti přetížení)
provozní skupina	J5
spektrum napětí	S3

### 3.3 Hmotnosti jednotlivých zařízení

Hmotnosti jednotlivých zařízení od zdvihu 120t je v Tab. 3-2.

Tab. 3-2 Hmotnosti zařízení od zdvihu 120t

Břemeno Q=120t	120 000 kg	
Lan. buben PR1200 – závit levý	2850 kg	
Lan. buben PR1200 – závit pravý	2850 kg	
Bubnové ložisko	200 kg	
Převodovka	4300 kg	
Spojka pruž. brzd. PR400/320 – V70/80	91 kg	
Brzda čelist'ová PR400x160	69 kg	
Motory	1700 kg/1ks	(2ks)
Havarijní brzda	410 kg/1ks	(2ks)
Lano f32mm – levé	933 kg	
Lano f32mm – pravé	933 kg	
Kladky f1000 – 3ks (vč. čepu f160 – 1ks)	631 kg/1ks	(2ks)
Traverza	10 000 kg	

Přehled zařízení a jejich hmotností od zdvihu 40t je v Tab. 3-3.

Tab. 3-3 Hmotnosti zařízení od zdvihu 40t

Břemeno Q=40t	40 000 kg	
Lanový buben PR710	1400 kg	
Bubnové ložisko	200 kg	
Převodovka SEW X3FS200/B	1683 kg	
Spojka pruž. brzd. PR400/320 – V60/80	85 kg	
Brzda čelist'ová PR400X160	69 kg	
Motor	850 kg	
Kladka lanová PR630/26,5-28	108 kg/1ks	(2ks)
Lano f25mm	464 kg	
Kladnice 40t (vč. háku)	860 kg	

Na nosné konstrukci se vyskytují i další zařízení a součásti než od zdvihů. Jejich přehled spolu s jejich hmotnostmi je v Tab. 3-4.

Tab. 3-4 Hmotnosti ostatních zařízení a součástí

Kolo hnací PR800x115	855 kg/1ks	(2ks)
Kolo hnané PR800x115	700 kg/1ks	(2ks)
Rameno troleje	300 kg	
Zábradlí, nástupy	200 kg	
Elektro + kabely	1000 kg	
Přídavek navíc	1000 kg	

## 4. Rozbor zatížení

Konstrukce je zatížena 21 základními zatíženími. Z těchto zatížení se následně tvoří návrhová zatížení dle [5].

### 4.1 Přehled zatížení

Konstrukce je zatížena základním zatížením od:

- 1) vlastní hmotnosti
  - a) vlastní hmotností ocelové konstrukce rámu kočky (L1)
  - b) hmotností strojního vybavení zdvihu (L2)
- 2) stálého břemena (L3)
- 3) jmenovitého břemena  $Q = 120t$  (L4)
- 4) jmenovitého břemena  $Q = 40t$  (L5)
- 5) setrvačných hmot
  - a) vlastní hmotnosti rámu kočky a strojního vybavení zdvihu
    - i) rozjezd mostu, ve směru -y, setrvačné síly působí ve směru +y (L19)
    - ii) brzdění mostu, ve směru +y, setrvačné síly působí ve směru -y (L20)
    - iii) rozjezd kočky, ve směru +x, setrvačné síly působí ve směru -x (L21)
    - iv) brzdění mostu, ve směru -x, setrvačné síly působí ve směru +x (L22)
  - b) stálého břemena
    - i) rozjezd mostu, ve směru -y, setrvačné síly působí ve směru +y (L23)
    - ii) brzdění mostu, ve směru +y, setrvačné síly působí ve směru -y (L24)
    - iii) rozjezd kočky, ve směru +x, setrvačné síly působí ve směru -x (L25)
    - iv) brzdění mostu, ve směru -x, setrvačné síly působí ve směru +x (L26)
  - c) jmenovitého břemena  $Q = 120t$ 
    - i) rozjezd mostu, ve směru -y, setrvačné síly působí ve směru +y (L27)
    - ii) brzdění mostu, ve směru +y, setrvačné síly působí ve směru -y (L28)
    - iii) rozjezd kočky, ve směru +x, setrvačné síly působí ve směru -x (L29)
    - iv) brzdění mostu, ve směru -x, setrvačné síly působí ve směru +x (L30)
  - d) jmenovitého břemena  $Q = 40t$ 
    - i) rozjezd mostu, ve směru -y, setrvačné síly působí ve směru +y (L31)
    - ii) brzdění mostu, ve směru +y, setrvačné síly působí ve směru -y (L32)
    - iii) rozjezd kočky, ve směru +x, setrvačné síly působí ve směru -x (L33)
    - iv) brzdění mostu, ve směru -x, setrvačné síly působí ve směru +x (L34)



## **4.2 Součinitelé zatížení**

Podle [5] se při výpočtu ocelových konstrukcí jeřábů se podle doby trvání a podle změn velikostí, polohy nebo smyslu působení, rozeznávají zatížení a účinky zatížení:

- a) stálé zatížení - vlastní tíha nosné konstrukce, zatížení od částí neměnicí svoje působení na konstrukci (hnací mechanismy, elektrická zařízení, kabina, strojovna) a trvalá napětí od troleje, táhel,
- b) nahodilá zatížení - zatížení od částí měnicí svoje působení na konstrukci (jmenovité, stálé břemeno), zatížení hmotností od pohyblivých částí, které se pohybují v závislosti na pohybu břemene (kočka, kladkostroje), zatížení od setrvačných sil vznikající při zdvihu nebo spouštění břemena, rozjezdu nebo brzdění kočky nebo jeřábu, zatížení od povětrnostních podmínek (vítr, sněh), od přičení a zatížení příslušenství (lávky, žebříky, zábradlí),
- c) mimořádná zatížení – zatížení při nárazu jeřábu nebo kočky na nárazníky, při dopravě a montáži.

### **4.2.1 Zatížení od vlastní hmotnosti**

Pro zatížení vyvozená vlastní hmotností se součinitel zatížení uvažuje  $\gamma_g=1,1$ .

### **4.2.2 Zatížení od břemena**

Součinitel zatížení od jmenovitého břemena  $\gamma_{10}$  vyjadřuje náhodné zvětšení jmenovitého břemena při provozu, způsobené například zachycením břemena, nepřesným stanovením hmotnosti zdvihaného břemena.

Dle zadání a z [5], Tab. 1, str. 9 je pro druh provozu D1 součinitel zatížení od břemena  $\gamma_{10}=1,2$ .

### **4.2.3 Zatížení od svislých setrvačných sil vznikající při zvedání nebo spouštění břemena**

Setrvačné síly vznikají účinkem dynamických sil při zvedání nebo spouštění břemena. Do výpočtu se zahrne spolu s jeho statickým účinkem tak, že zatížení od celkového břemena se vynásobí dynamickým zdvihovým součinitelem  $\delta_h$ .

Hodnota součinitele  $\delta_h$  se určí podle zdvihové třídy jeřábu. Dle zadání a [5], Tab. 2, str. 10, pro zdvihovou třídu H3, se použije vzorec:

$$\delta_h = 1,3 + 0,39 \cdot \frac{v_h}{60} \quad (4.1)$$

kde:

$v_h$ ...rychlost zdvihu

Součinitel od svislých setrvačných sil při zvedání  $Q=120$  t

$$\delta_h = 1,3 + 0,39 \cdot \frac{v_h}{60}$$

$$\delta_h = 1,3 + 0,39 \cdot \frac{4}{60}$$

$$\delta_h = 1,326$$

kde:

$v_h = 4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , rychlost zdvihu pro zvedání jmenovitého břemena 120t

Součinitel od svislých setrvačných sil při zvedání  $Q=40$  t

$$\delta_h = 1,3 + 0,39 \cdot \frac{v_h}{60}$$

$$\delta_h = 1,3 + 0,39 \cdot \frac{8}{60}$$

$$\delta_h = 1,352$$

kde:

$v_h = 8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , rychlost zdvihu pro zvedání jmenovitého břemena 40t

#### 4.2.4 Zatížení od svislých setrvačných sil vznikající při pojíždění

Setrvačné síly vznikají při pojíždění jeřábu nebo kočky. Do výpočtu se zahrne spolu s jeho statickým účinkem tak, zatížení vyvozená vlastní hmotností se vynásobí dynamickým pojezdovým součinitelem  $\delta_t$ . Při více pohybech se uvažuje vyšší hodnota.

Rychlost pojezdu jeřábu je  $v_t = 7 \div 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , rychlost jeřábové kočky je  $v_t = 3 \div 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Rozhodující je pojezdová rychlost jeřábu a pro ni se určí hodnota součinitele  $\delta_t$  podle [5], Tab. 4, str. 11.

$$v_t = \frac{70}{60} = 1,166 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.2)$$

$$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < v_t < 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \Rightarrow \quad \delta_t = 1,2$$

kde:

$v_t$  ... pojezdová rychlost jeřábu

#### 4.2.5 Zatížení od setrvačných sil vznikajících při rozjíždění a brzdění

Při zrychlování nebo zpomalování pohybů (pojízďení, otáčení) je třeba zjistit největší možné setrvačné síly působící na nosnou konstrukci. Tyto síly jsou omezeny třecí silou pojíždějících kol po kolejnici, proto se zde stanovuje součinitel tření s hodnotou  $\mu = 0,14$ .

V případě že, největší setrvačné síly nejsou omezeny třením mezi pojezdovým kolem a kolejnici, pak se počítají buď z rozběhového momentu hnacího motoru, případně rozběhové spojky a všech zrychlovaných hmotností, nebo z maximálního provozního krouticího momentu vyvozeného brzdami a všech brzděných hmotností. Ve výpočtu setrvačných sil se uvažují zatížení normová a součinitel zatížení od setrvačných sil vznikající při rozjíždění nebo brzdění je  $\gamma_i = 1,1$ .

## 5. Pevnostní výpočet

Pevnostní výpočet rámu kočky je proveden jako statický výpočet skořepinového a prutového modelu. Nejčastěji je rozhodující posouzení konstrukce na únavu, proto další výpočty směřují tímto směrem.

Tento výpočet byl proveden lineární metodou konečných prvků v programu I-DEAS.

### 5.1 *Materiál a výpočtová pevnost*

Nosná ocelová konstrukce rámu kočky je navržena z materiálu se zaručenou svařitelností. Pro výpočtovou pevnost je zvolena ocel S355J2+N (ČSN 11 523). Pro tah, tlak a ohyb je výpočtová pevnost  $R_d = 290 \text{ MPa}$ , pro smyk je  $R_d = 174 \text{ MPa}$ .

### 5.2 *Popis modelu*

Zadání této práce je porovnat výsledky analýzy nosné konstrukce rámu kočky na únavu pro skořepinový a prutový model.

Pro výpočtový model je zvolena ocel třídy 52, s následujícími parametry:

modul pružnosti v tahu:	$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
modul pružnosti ve smyku	$G = 0,804 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
Poissonovo číslo	$\mu = 0,3$
hustota	$\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

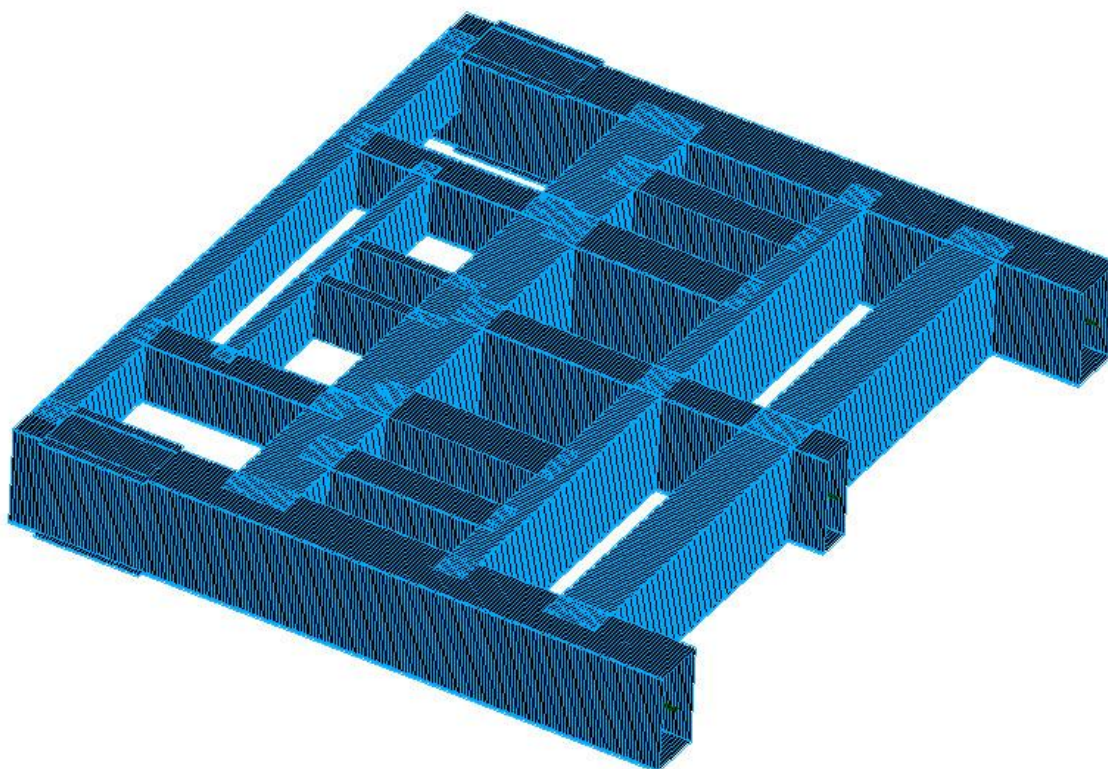
#### 5.2.1 Prutový model

Druhým typem modelu je model prutový (obr. 5-1). Je zde použit prvek beam (prut). Je to jednorozměrný prvek, jehož jeden rozměr, délka, je podstatně větší, než dva ostatní. Jedná se o pruty prizmatické, což jsou pruty s konstantním tvarem a velikostí průřezu.

Při tvorbě modelu se vytvořil kvádr o rozměrech, které odpovídají vzdáleností střednic hlavních nosníků. Následně byl vzniklý objem v 19 krocích rozřezán na příslušné plochy. Pro další postup se používaly pouze hraniční přímky vzniklých ploch. Tyto přímky představují střednice jednotlivých nosníků. Pro vytvoření sítě, se jednotlivým střednicím přiřazovaly

příslušné profily, jejichž přehled je zobrazen na obr. 5-2 až obr. 5-14. Vzdálenost jednotlivých elementů sítě je 30 mm.

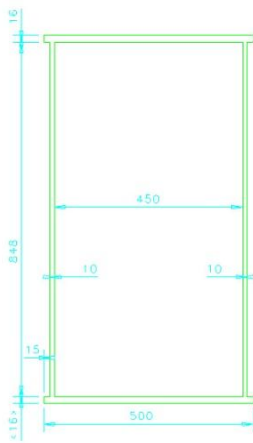
Všechny profily jsou skříňové, tzn. jsou uzavřené. Na skutečném výrobku se ve dvou místech konstrukce vyskytují otvory, které tvoří rozdělený průřez profilu. Tyto místa byly pro funkčnost modelu nahrazeny uzavřeným průřezem. Program I-DEAS neumožňuje zadání rozděleného profilu, proto je potřeba toto zjednodušení. Další variantou by mohlo být nahradit místo otvoru dvěma pruty, kterým by se přiřadil příslušný profil.



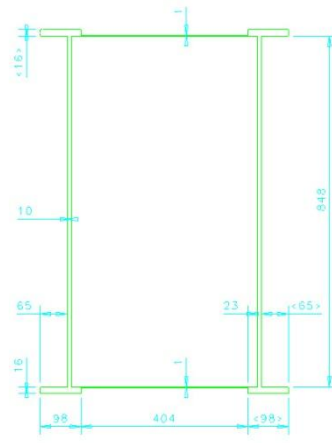
Obr. 5-1 Prutový model

Pro případ otvoru pro pojezdová kola, byl za předpokladu zanedbatelného ovlivnění průběhu napětí u otevřeného profilu A1 (Obr. 5-3) přidán 1mm proužek pro spojení bočních stěn.

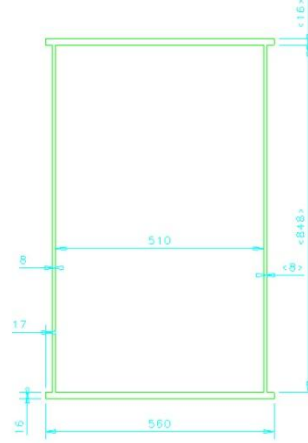
V případě otvoru pro pevný závěs lana, byl původní profil J1 složen ze dvou bočnic (Obr. 5-13). Tento profil byl nahrazen za předpokladu zanedbatelného ovlivnění výsledků profilem J (Obr. 5-12).



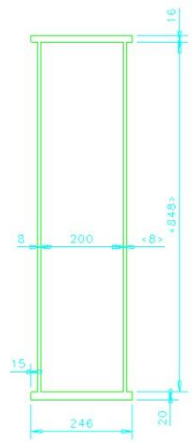
Obr. 5-2 Profil A



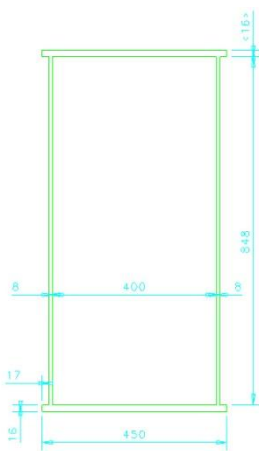
Obr. 5-3 Profil A1



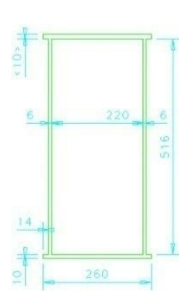
Obr. 5-4 Profil B



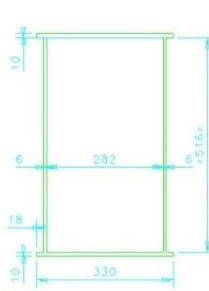
Obr. 5-5 Profil C



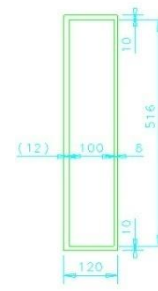
Obr. 5-6 Profil D



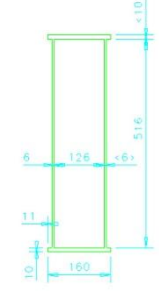
Obr. 5-7 Profil E



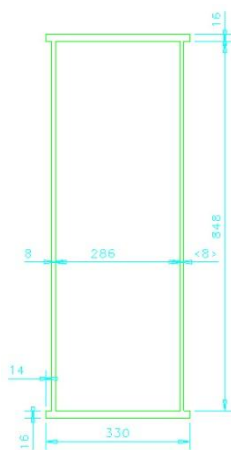
Obr. 5-8 Profil F



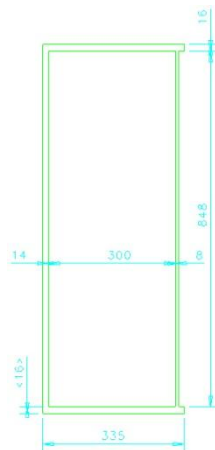
Obr. 5-9 Profil G



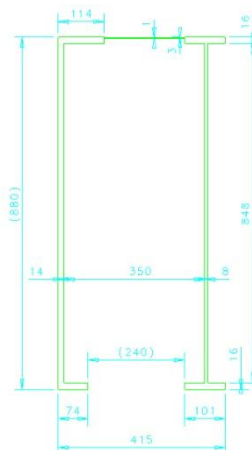
Obr. 5-10 Profil H



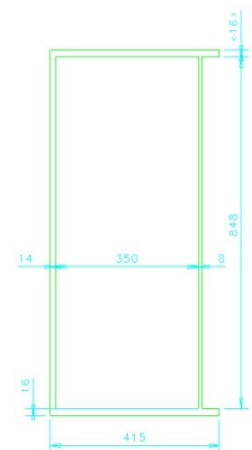
Obr. 5-11 Profil I



Obr. 5-12 Profil J



Obr. 5-13 Profil J1



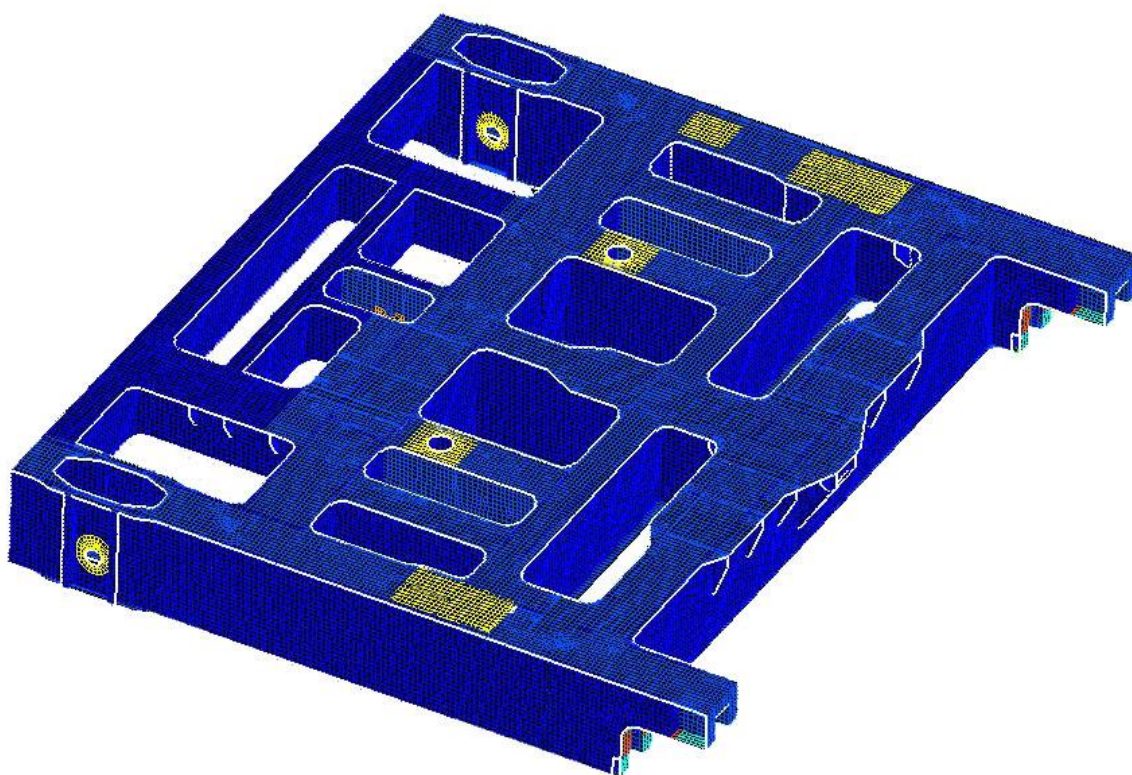
Obr. 5-14 Profil K

### 5.2.1.1 Nahrazení pojezdových kol u prutového modelu

Jako náhrada zde byl zvolen tuhý prvek rigid. Tento prvek spojuje uzel na konstrukci s uzlem, který odpovídá ose pojezdového kola K1, K2, K3, K4.(Obr 5-19)

### 5.2.2 Skořepinový model

Skořepinový model (Obr. 5-15) byl tvořen v programu I-DEAS. Při modelování se vytvořily jednotlivé střednicové plochy, kterým se následně přiřazovaly příslušné tloušťky materiálu. Případná posunutí střednice plochy, byla řešená funkcí z-offset, která posunuje střednici ve zvoleném směru o požadovanou délku.



Obr. 5-15 Skořepinový model

Model pro vytvoření sítě byl modelován z jednoho objemu, který představoval kvádr o největších vnějších rozměrech celé konstrukce. Dále byl následnými 404 operacemi rozřezán plochami a objemy tak, aby vznikly veškeré potřebné plochy pro nasíťování modelu. Na skutečném výrobku se vyskytuje mnoho zaoblených hran a sražení. Z důvodu zjednodušení výpočtového modelu a za předpokladu malého ovlivnění výpočtu, byly některé tyto konstrukční prvky zanedbány



Pro nasítování modelu rámu byly použity elementy s velikostí hrany 40 mm při tloušťkách 6, 8, 10, 11, 12, 12.5, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 36, 37, 46, 47, 55, 64 mm a 3 typy prvků, jejichž přehled a počet je uveden v Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Přehled použitých prvků

Název prvku	Počet prvků
thin shell	203146
constraint	34
rigid	18

Popis užitých prvků:

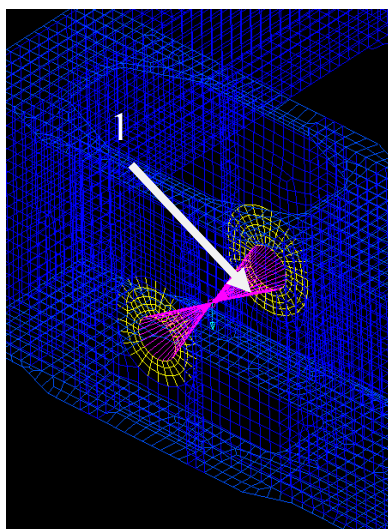
Thin shell – patří mezi základní prvky, které se používají při sítování skořepinového modelu. Je to čtyřuzlový prvek, který má šest stupňů volnosti. Každému prvku se přiřazuje daná vlastnost materiálu a příslušná tloušťka.

Constraint – nehmotný prvek s konečnou tuhostí, který se používá pro rozložení zatížení do vybraných uzlů. Může se použít i jako náhrada čepu. V řešeném modelu je použit pro rozložení zatížení jednotlivých strojních zařízení mezi uzly stoliček rámu.

Rigid – dokonale tuhý prvek, který se používá na propojení dvou uzlů, nebo také na propojení jednoho uzlu s více uzly, podobně jako constraint.

#### 5.2.2.1 Nahrazení pojezdových kol u skořepinového modelu

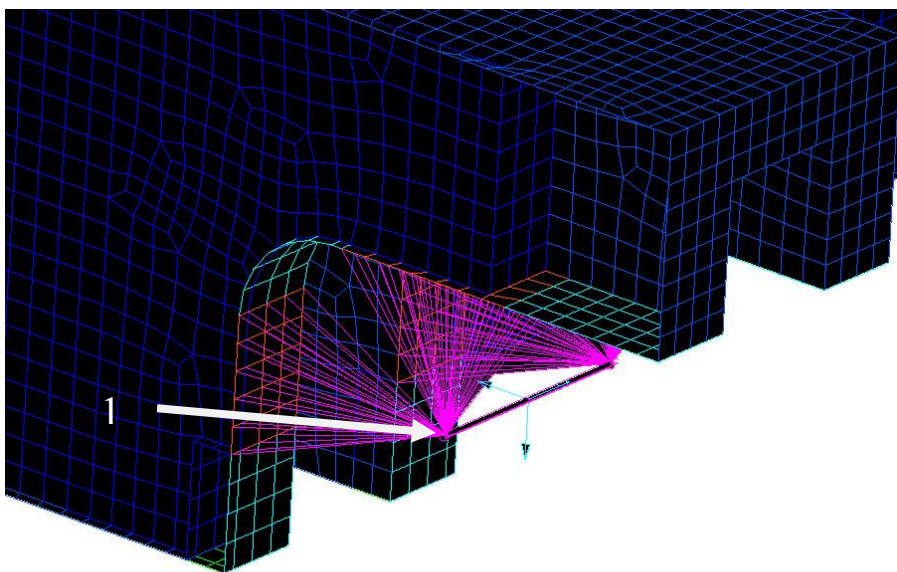
Pojezdová kola vytváří spojení mezi rámem kočky a samotným jeřábem. Tyto místa jsou vhodná pro umístění vazeb okrajových podmínek. Čep hnaných kol byl nahrazen prvky constraint (Obr. 5-16) tak, že byl v bodě 1 vytvořen uzel, se kterým byly z každé strany prvkem constraint spojeny uzly, které jsou po obvodu otvorů pro čep.



Obr. 5-16 Náhrada pojezdových kol



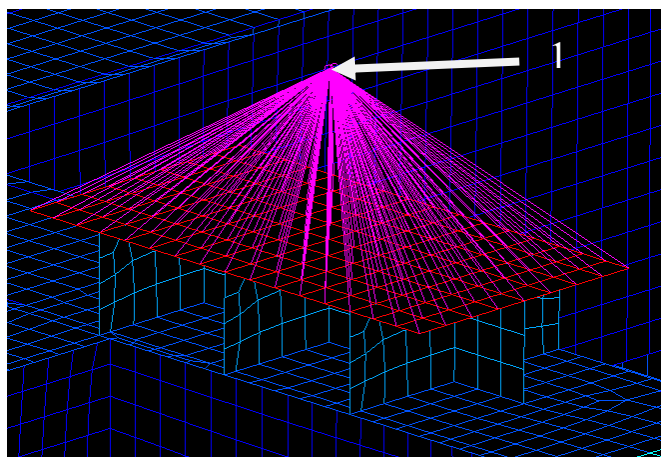
Jako náhrada uložení ložiska hnacích kol v rohovém rámu, byl zvolen prvek constraint. Byl vytvořen uzel 1 (Obr. 5-17), který odpovídá umístění osy kola a tento uzel byl spojen s uzly na kontaktní ploše na konstrukci.



Obr. 5-17 Náhrada uložení ložiska v rohovém rámu

#### 5.2.2.2 Nahrazení zatížení

Aby mohl proběhnout výpočet, je potřeba nasíťovaný model patřičně zatížit. Většina strojních zařízení je umístěna na stoličkách rámu. Tyto stoličky následně přenášejí zatížení na konstrukci. Z důvodu zjednodušení zadávání síly (Obr. 5-18), byl opět vytvořen uzel 1 ve vzdálenosti, odpovídající působišti, nad stoličkou a následně spojen se všemi uzly horní plochy dané stoličky. Tím je zatížení rovnoměrně rozloženo na celou plochu stoličky.

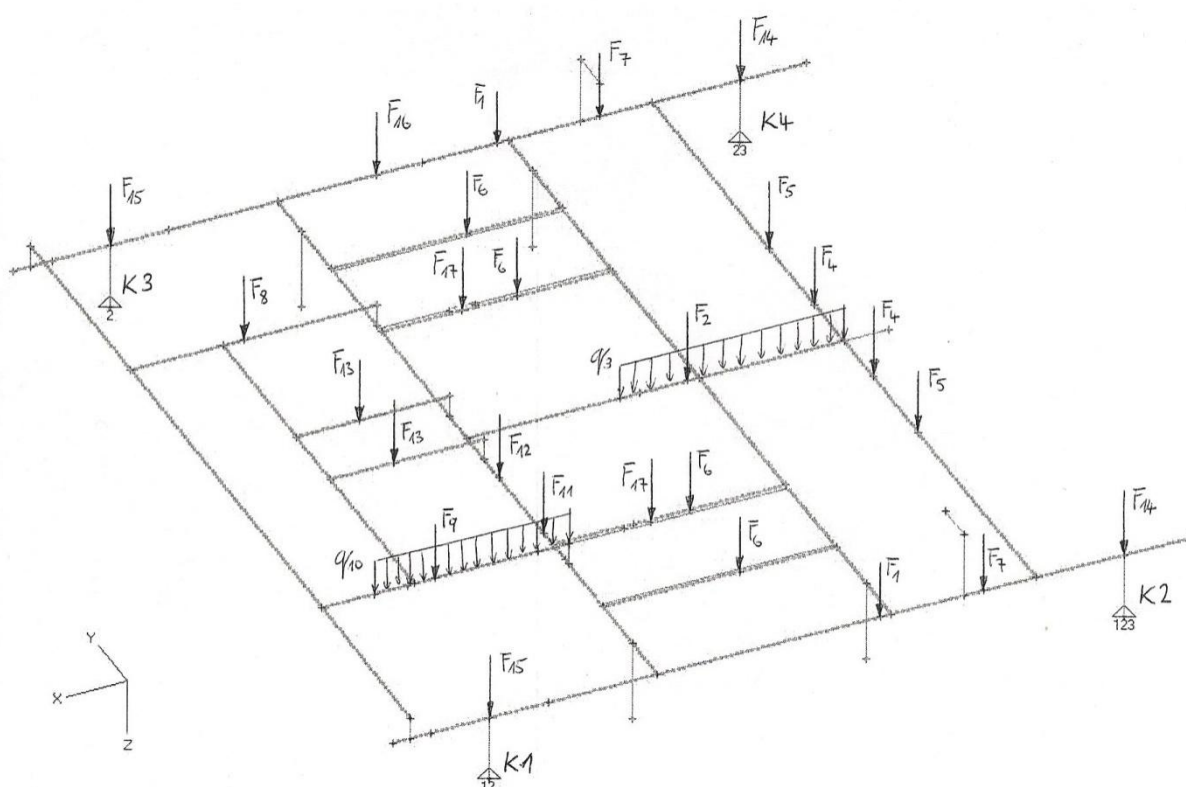


Obr. 5-18 Náhrada zatížení

### 5.3 Zatížení konstrukce

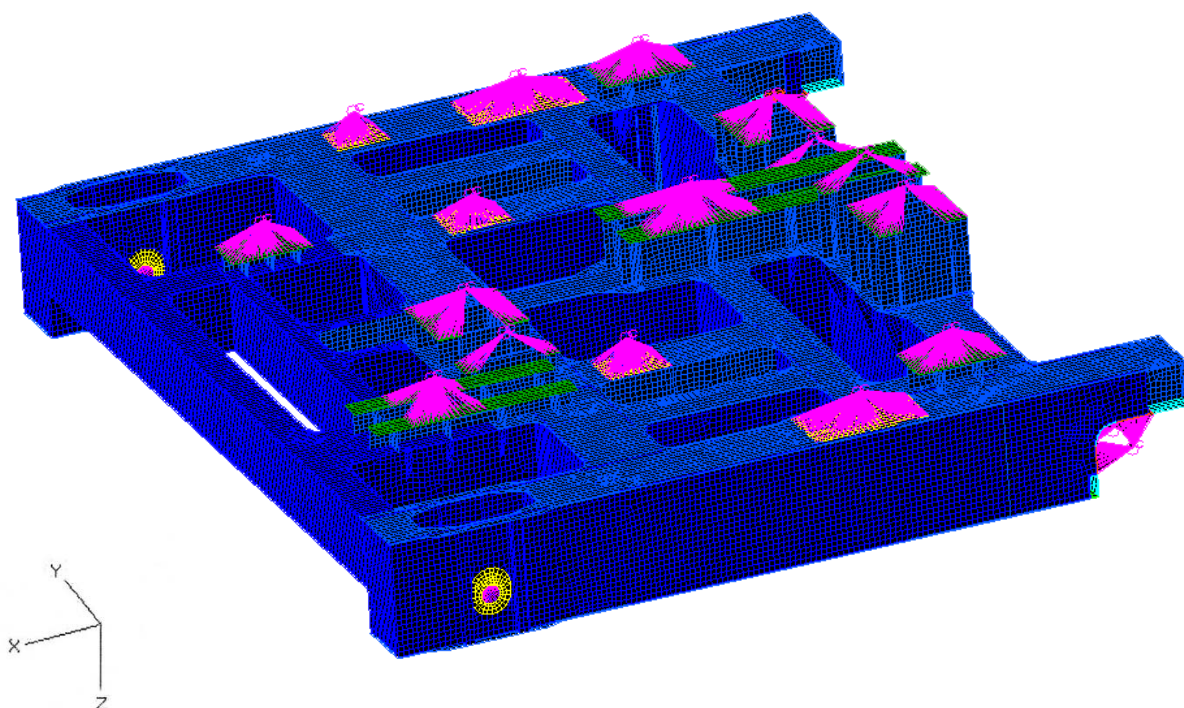
Pro dosažení výsledků, je potřeba konstrukci zatížit, případně navodit takový zatěžovací stav, aby co nejvíce odpovídal skutečnému stavu.

Na obr. 5-19 je znázorněno schematické zatížení prutové konstrukce. Síly jsou umístěné do svých působišť. Momenty na tomto schématu nejsou z důvodu přehlednosti zobrazené.



Obr. 5-19 Přehled zatížení konstrukce – pro přehlednost bez uvedení momentů

Zatížení u skořepinového modelu je schematicky stejné, akorát působišť sil jsou přesunuta do uzlů (Obr. 5-20), ze kterých vychází náhrada constraint. Tímto zadáním sil se nemusí zadávat momenty.



Obr. 5-20 Skořepinový model – pohled shora na ráám se stoličkami

#### 5.4 Okrajové podmínky

Pro výpočet modelů v softwaru I-DEAS je potřeba modelu nadefinovat okrajové podmínky. Tyto podmínky byly zadány do uzlů, které odpovídají ose pojezdových kol. Označení pojezdových kol je na obr. 5-19 (K1, K2, K3, K4). Jsou pro oba typy modelů shodné a mají následující hodnoty:

1 –  $T_Y=0$

2 –  $T_Z=0$

3 –  $T_X=0$

Rotační pohyby jsou ve všech uzlech povoleny.

Označení těchto okrajových podmínek je C1.

## 5.5 Návrhová zatížení dle ČSN 27 0103

Výpočet ocelových konstrukcí jeřábů se provádí s uvážením všech nepříznivých kombinací účinků zatížení stálých, nahodilých a mimořádných. Kombinace se stanoví s ohledem na skutečnou možnost současného působení jednotlivých zatížení. [5]

Přehled zatížení je v Tab. 5-2

Pro zadané řešení se uvažuje kombinace:

53A – základní – určí se dle [5], Tab. 9, str. 21

53C – pro posuzování ocelové konstrukce při únavě – určí se dle [5], Tab. 11, str. 23

### 5.5.1 Zatížení od vlastní hmotnosti a zatížení od setrvačných sil rámu kočky

Zatížení od vlastní hmotnosti pro prutový model zadáno jako tíhové zrychlení s přídavkem +25% na žebra, zábradlí, elektrické kabely apod.

$$g_z = g \cdot 1,25 = 9,81 \cdot 1,25 = 12,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.1)$$

kde:

$$g \dots \text{tíhové zrychlení} \quad g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Pro skořepinový model je zatížení od vlastní hmotnosti aplikováno jako tíhové zrychlení o velikosti  $g_z = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Zatížení od setrvačných sil je dle Kap. 4.2.5 a součinitelů  $i_M = 0,5$  a  $i_K = 0,5$  **pro prutový model:**

- a) rozjezd mostu, ve směru osy -y, setrvačné síly působí ve směru +y

$$g_y = g_z \cdot \mu \cdot i_M = 12,26 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = 0,8582 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.2)$$

- b) brzdění mostu, ve směru osy +y, setrvačné síly působí ve směru -y

$$g_y = g_z \cdot \mu \cdot i_M = 12,26 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = -0,8582 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.3)$$

- c) rozjezd kočky, ve směru osy +x, setrvačné síly působí ve směru -x

$$g_x = g_z \cdot \mu \cdot i_K = 12,26 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = -0,8582 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.4)$$

- d) brzdění kočky, ve směru osy -x, setrvačné síly působí ve směru +x

$$g_x = g_z \cdot \mu \cdot i_K = 12,26 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = 0,8582 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.5)$$

kde:

$g_z$ ... tíhové zrychlení pro prutový model  
 $\mu$ ...součinitel tření mezi kolejnicí a kolem  
 $i_K$ ... součinitel zatížení od kočky  
 $i_M$ ... součinitel zatížení od mostu

**Pro skořepinový model** je výpočet obdobný:

- a) rozjezd mostu, ve směru osy -y, setrvačné síly působí ve směru +y

$$g_y = g_z \cdot \mu \cdot i_M = 9,81 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = 0,6867 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.6)$$

- b) brzdění mostu, ve směru osy +y, setrvačné síly působí ve směru -y

$$g_y = g_z \cdot \mu \cdot i_M = 9,81 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = -0,6867 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.7)$$

- c) rozjezd kočky, ve směru osy +x, setrvačné síly působí ve směru -x

$$g_x = g_z \cdot \mu \cdot i_K = 9,81 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = -0,6867 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.8)$$

- d) brzdění kočky, ve směru osy -x, setrvačné síly působí ve směru +x

$$g_x = g_z \cdot \mu \cdot i_K = 9,81 \cdot 0,14 \cdot 0,5 = 0,6867 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.9)$$

kde:

$g_z$ ...tíhové zrychlení pro skořepinový model  
 $\mu$ ...součinitel tření mezi kolejnicí a kolem  
 $i_K$ ... součinitel zatížení od kočky  
 $i_M$ ... součinitel zatížení od mostu

### 5.5.2 Základní kombinace zatížení pro jmenovité břemeno 120t

Základní kombinace 53A pro zatížení jmenovitým břemenem 120t se sestává ze zatížení vlastní hmotnosti rámu kočky, vlastní hmotnosti strojních součástí, hmotnosti stálého břemena a jmenovitého břemena 120t.

Z [5], Tab. 9, str. 21 a Kap. 4.4 je pro zatížení L12 zřejmé následující:

$$L12 = \gamma_g \cdot \delta_t \cdot L1 + \gamma_g \cdot \delta_t \cdot L2 + \gamma_g \cdot \delta_h \cdot L3 + \gamma_{l0} \cdot \delta_h \cdot L4 \quad (5.10)$$

$$L12 = 1,1 \cdot 1,2 \cdot L1 + 1,1 \cdot 1,2 \cdot L2 + 1,1 \cdot 1,326 \cdot L3 + 1,2 \cdot 1,326 \cdot L4$$

po zjednodušení dostaneme:

$$L12 = 1,32 \cdot (L1 + L2) + 1,4586 \cdot (L3 + L4)$$

### 5.5.3 Kombinace zatížení při únavě pro jmenovité břemeno 120t

Kombinace pro posuzování konstrukce při únavě pro zatížení jmenovitým břemenem 120t se sestává ze stejných zatížení jako základní kombinace.

Z [5], Tab. 11, str. 23 a Kap. 4.4 je zatížení L13 rovno:

$$L13 = \delta_t \cdot L1 + \delta_t \cdot L2 + \delta_h \cdot L3 + \delta_h \cdot L4 \quad (5.11)$$

po dosazení a zjednodušení dostaneme:

$$L13 = 1,2 \cdot (L1 + L2) + 1,326 \cdot L3 + 1,326 \cdot L4$$

### 5.5.4 Základní kombinace zatížení pro jmenovité břemeno 40t

Obdobným způsobem se lze dopočítat k základní kombinaci 53A a pro kombinaci pro posuzování konstrukce při únavě pro zatížení jmenovitým břemenem 40t s výsledky:

$$L14 = \gamma_g \cdot \delta_t \cdot L1 + \gamma_g \cdot \delta_t \cdot L2 + \gamma_g \cdot \delta_h \cdot L3 + \gamma_{i0} \cdot \delta_h \cdot L5 \quad (5.12)$$

$$L14 = 1,1 \cdot 1,2 \cdot L1 + 1,1 \cdot 1,2 \cdot L2 + 1,1 \cdot 1,352 \cdot L3 + 1,2 \cdot 1,352 \cdot L5$$

po zjednodušení dostaneme:

$$L14 = 1,32 \cdot (L1 + L2) + 1,4872 \cdot L3 + 1,6224 \cdot L5$$

### 5.5.5 Kombinace zatížení při únavě pro jmenovité břemeno 40t

$$L15 = \delta_t \cdot L1 + \delta_t \cdot L2 + \delta_h \cdot L3 + \delta_h \cdot L5 \quad (5.13)$$

po dosazení a zjednodušení dostaneme:

$$L15 = 1,2 \cdot (L1 + L2) + 1,352 \cdot (L3 + L5)$$

### 5.5.6 Základní kombinace zatížení s rozjezdem nebo brzděním mostu nebo kočky se jmenovitým břemenem 120t

Pro základní kombinaci zatížení a zároveň rozjíždění mostu nebo kočky nebo při jejich brzdění musí být dle Kap. 4.2.5 zahrnut součinitel  $\gamma_i = 1,1$ .

Pro základní kombinaci, rozjezd mostu a rozjezd kočky se jmenovitým břemenem 120t je zatížení L51 následující:

$$L51 = L12 + \gamma_i \cdot L39 + \gamma_i \cdot L41 \quad (5.14)$$

po dosazení a zjednodušení dostaneme:

$$L51 = L12 + 1,1 \cdot (L39 + L41)$$

Obdobným způsobem pro:

Pro základní kombinaci, rozjezd mostu a brzdění kočky je zatížení L52

$$L52 = L12 + 1,1 \cdot (L39 + L42) \quad (5.15)$$

Pro základní kombinaci, brzdění mostu a rozjezd kočky je zatížení L53

$$L53 = L12 + 1,1 \cdot (L40 + L41) \quad (5.16)$$

Pro základní kombinaci, brzdění mostu a brzdění kočky je zatížení L54

$$L54 = L12 + 1,1 \cdot (L40 + L42) \quad (5.17)$$

### **5.5.7 Základní kombinace zatížení s rozjezdem nebo brzděním mostu nebo kočky se jmenovitým břemenem 40t**

Rovněž pro základní kombinaci, rozjezd mostu a rozjezd kočky se jmenovitým břemenem 40t je zatížení L59:

$$L59 = L14 + \gamma_i \cdot L43 + \gamma_i \cdot L45 \quad (5.18)$$

po dosazení a zjednodušení dostaneme:

$$L51 = L14 + 1,1 \cdot (L43 + L45)$$

Obdobným způsobem pro:

Pro základní kombinaci, rozjezd mostu a brzdění kočky je zatížení L60

$$L60 = L14 + 1,1 \cdot (L43 + L46) \quad (5.19)$$

Pro základní kombinaci, brzdění mostu a rozjezd kočky je zatížení L61

$$L61 = L14 + 1,1 \cdot (L44 + L45) \quad (5.20)$$

Pro základní kombinaci, brzdění mostu a brzdění kočky je zatížení L62

$$L62 = L14 + 1,1 \cdot (L44 + L45) \quad (5.21)$$

Tab. 5-2 Seznam zatížení

L1	Vlastní hmotnost rámu kočky	
L2	Vlastní hmotnost strojních součástí	
L3	Stálé břemeno	
L4	Jmenovité břemeno $Q=120t$	
L5	Jmenovité břemeno $Q=40t$	
L7	L1+L2	norm., vl. hm. rámu + stroj. součásti
L8	L7+L3	norm., vl. hm. rámu + stroj. součásti + st. břem.
L9	L8+L4	norm., vl. hm. rámu + stroj. součásti + st. břem. + $Q=120t$
L10	L8+L5	norm., vl. hm. rámu + stroj. součásti + st. břem. + $Q=40t$
L12	$1,32 \cdot (L1+L2) + 1,4586 \cdot (L3+L4)$	Základní kombinace, $Q=120t$
L13	$1,2 \cdot (L1+L2) + 1,326 \cdot (L3+L4)$	Únava, $Q=120t$
L14	$1,32 \cdot (L1+L2) + 1,4872 \cdot L3 + 1,6224 \cdot L5$	Základní kombinace, $Q=40t$
L15	$1,2 \cdot (L1+L2) + 1,352 \cdot (L3+L5)$	Únava, $Q=40t$
L19	RM	Vl. hm. rámu + stroj. souč., +y
L20	BM	Vl. hm. rámu + stroj. souč., -y
L21	RK	Vl. hm. rámu + stroj. souč., -x
L22	BK	Vl. hm. rámu + stroj. souč., +x
L23	RM	st. břem., +y
L24	BM	st. břem., -y
L25	RK	st. břem., -x
L26	BK	st. břem., +x
L27	RM	Jmenovité břem. $Q=120t$ , +y
L28	BM	Jmenovité břem. $Q=120t$ , -y
L29	RK	Jmenovité břem. $Q=120t$ , -x
L30	BK	Jmenovité břem. $Q=120t$ , +x
L31	RM	Jmenovité břem. $Q=40t$ , +y
L32	BM	Jmenovité břem. $Q=40t$ , -y
L33	RK	Jmenovité břem. $Q=40t$ , -x
L34	BK	Jmenovité břem. $Q=40t$ , +x
L39	L19+L23+L27	RM Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=120t$
L40	L20+L24+L28	BM Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=120t$
L41	L21+L25+L29	RK Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=120t$
L42	L22+L26+L30	BK Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=120t$
L43	L19+L23+L31	RM Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=40t$
L44	L20+L24+L32	BM Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=40t$
L45	L21+L25+L33	RK Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=40t$
L46	L22+L26+L34	BK Vl. hm. rámu + stroj. souč. + st. břem. + $Q=40t$
L51	$L12+1,1 \cdot (L39+L41)$	RMRK Základní kombinace, $Q=120t$
L52	$L12+1,1 \cdot (L39+L42)$	RMBK Základní kombinace, $Q=120t$
L53	$L12+1,1 \cdot (L40+L41)$	BMRK Základní kombinace, $Q=120t$
L54	$L12+1,1 \cdot (L40+L42)$	BMBK Základní kombinace, $Q=120t$
L55	L13+L39+L41	RMRK Únava, $Q=120t$
L56	L13+L39+L42	RMBK Únava, $Q=120t$
L57	L13+L40+L41	BMRK Únava, $Q=120t$
L58	L13+L40+L42	BMBK Únava, $Q=120t$
L59	$L14+1,1 \cdot (L43+L45)$	RMRK Základní kombinace, $Q=40t$
L60	$L14+1,1 \cdot (L43+L46)$	RMBK Základní kombinace, $Q=40t$
L61	$L14+1,1 \cdot (L44+L45)$	BMRK Základní kombinace, $Q=40t$
L62	$L14+1,1 \cdot (L44+L46)$	BMBK Základní kombinace, $Q=40t$
L63	L15+L43+L45	RMRK Únava, $Q=40t$
L64	L15+L43+L46	RMBK Únava, $Q=40t$
L65	L15+L44+L45	BMRK Únava, $Q=40t$
L66	L15+L44+L46	BMBK Únava, $Q=40t$



## 5.6 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy se skládají ze zatížení dle Tab. 5-2 a okrajových podmínek C1. Přehled všech zatěžovacích stavů je v Tab. 5-3.

Tab. 5-3 Seznam zatěžovacích stavů

ZS1 = L7 + C1		Normové zatížení, vl. hm. rámu + stroj. souč., bez břemena
ZS2 = L8 + C1		Norm. zat., vl. hm. rámu + stroj. souč.+ stálé břemeno
ZS3 = L9 + C1		Norm. zatížení, vl. hm. rámu + stroj. souč.+ stálé Q, Q=120t
ZS4 = L10 + C1		Norm. zatížení, vl. hm. rámu + stroj. souč.+ stálé Q, Q=40t
ZS6 = L51 + C1	RMRK	Základní kombinace, Q = 120t
ZS7 = L52 + C1	RMBK	Základní kombinace, Q = 120t
ZS8 = L53 + C1	BMRK	Základní kombinace, Q = 120t
ZS9 = L54 + C1	BMBK	Základní kombinace, Q = 120t
ZS10 = L55 + C1	RMRK	Únava, Q = 120t
ZS11 = L56 + C1	RMBK	Únava, Q = 120t
ZS12 = L57 + C1	BMRK	Únava, Q = 120t
ZS13 = L58 + C1	BMBK	Únava, Q = 120t
ZS14 = L59 + C1	RMRK	Základní kombinace, Q = 40t
ZS15 = L60 + C1	RMBK	Základní kombinace, Q = 40t
ZS16 = L61 + C1	BMRK	Základní kombinace, Q = 40t
ZS17 = L62 + C1	BMBK	Základní kombinace, Q = 40t
ZS18 = L63 + C1	RMRK	Únava, Q = 40t
ZS19 = L64 + C1	RMBK	Únava, Q = 40t
ZS20 = L65 + C1	BMRK	Únava, Q = 40t
ZS21 = L66 + C1	BMBK	Únava, Q = 40t

## 6. Únosnost při únavě

Únosnost při únavě se dle zadané vrubové skupiny K3 z [5]. Na nosné konstrukci rámu kočky se vyskytují některé konstrukční detaily, které mají nepříznivé vrubové účinky a mohly by se po absolvování kritického počtu zatěžovacích cyklů stát hlavní příčinou únavového poškození nosného rámu.

Při tomto výpočtu se vychází ze zatěžovacích stavů:

- ZS10 až ZS13 pro zatížení 120t
- ZS18 až ZS21 pro zatížení 40t

Základní výpočtová pevnost  $R_{fat(-1)}$  pro konstrukční prvky, svary a spojovací díly z materiálu řady 52 je, pro řešenou úlohu, dle [5], Tab. 14, str. 27,

$$R_{fat(-1)} = 63,6 \text{ MPa}.$$

Mezi základní výpočtovou pevností v únavě  $R_{fat(-1)}$  a výpočtovou pevností  $R_{fat(\kappa)}$  platí závislosti dle [5], Obr. 4, str. 29:

$$\text{Pro tah: } R_{fat,t(0)} = \frac{5}{3} R_{fat(-1)} \quad (6.1)$$

$$R_{fat,t(0)} = \frac{5}{3} \cdot 63,6$$

$$R_{fat,t(0)} = 106 \text{ MPa}$$

$$\text{Pro tlak: } R_{fat,p(0)} = 2 \cdot R_{fat(-1)} \quad (6.2)$$

$$R_{fat,p(0)} = 2 \cdot 63,6$$

$$R_{fat,p(0)} = 127,2 \text{ MPa}$$

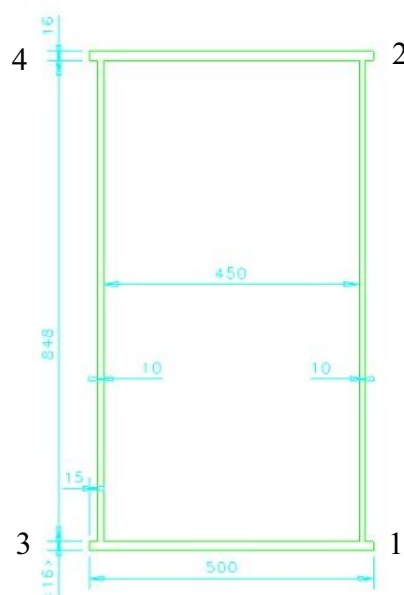
### 6.1 Prutový model

U prutového modelu jsou nejvíce namáhané nosníky s průřezy A, B, C, D. Pro tyto průřezy je provedeno posouzení zatížení při únavě. Napětí  $\sigma$  je součtem osových napětí  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pro element, který je na nosníku nejvíce namáhán ze všech zatěžovacích stavů určujících zatížení při únavě. Pro tentýž element je odečteno napětí ze základního stavu zatížení nosné konstrukce pro zatěžovací stav ZS2, kde jako zatížení konstrukce je vlastní tíha, tíha strojních součástí a stálého břemene.

### 6.1.1 Průřez A

Element 192, ZS12, bod průřezu 4 – tlak

Element 192, ZS11, bod průřezu 3 – tah



**Horní pásnice** - Element 192, ZS12, bod průřezu 4 – tlak

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (6.3)$$

$$\sigma = -0,83 - 7,9 - 70,8$$

$$\sigma = -79,53 \text{ MPa}$$

kde:

$\sigma_x$ ... napětí v ose x

$\sigma_y$ ... napětí v ose y

$\sigma_z$ ... napětí v ose z

$$\text{ZS12: } \sigma_{max} = -79,53 \text{ MPa}$$

$$\text{ZS2: } \sigma_{min} = -13,35 \text{ MPa}$$

$$\text{poměr napětí: } \kappa = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (6.4)$$

$$\kappa = \frac{-13,35}{-79,53}$$

$$\kappa = 0,168 \Rightarrow \text{míjivé namáhání}$$

Z [5], Tab. 17, str. 29

$$R_{fat,p(\kappa)} = \frac{R_{fat,p(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,p(0)}}{0,90 \cdot R_m}\right) \cdot \kappa} \quad (6.5)$$

$$R_{fat,p(\kappa)} = \frac{127,2}{1 - (1 - \frac{127,2}{0,90 \cdot 520}) \cdot 0,168}$$

$$R_{fat,p(\kappa)} = 144,92 \text{ MPa} > |\sigma_{\max}| = 79,53 \text{ MPa}$$

Závěr: Profil A v bodě průřezu 4 **vyhovuje** normě.

**Spodní pásnice** - Element 192, ZS11, bod průřezu 3 – tah

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (6.6)$$

$$\sigma = 1,46 + 8,39 + 72,2$$

$$\sigma = 82,05 \text{ MPa}$$

kde:

$\sigma_x$ ... napětí v ose x

$\sigma_y$ ... napětí v ose y

$\sigma_z$ ... napětí v ose z

$$\text{ZS11: } \sigma_{\max} = 82,05 \text{ MPa}$$

$$\text{ZS2: } \sigma_{\min} = 13,64 \text{ MPa}$$

$$\text{poměr napětí: } \kappa = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (6.7)$$

$$\kappa = \frac{13,64}{82,05}$$

$$\kappa = 0,166 \Rightarrow \text{míjivé namáhání}$$

Z [5], Tab. 17, str. 29

$$R_{fat,t(\kappa)} = \frac{R_{fat,t(0)}}{1 - (1 - \frac{R_{fat,t(0)}}{0,75 \cdot R_m}) \cdot \kappa} \quad (6.8)$$

$$R_{fat,t(\kappa)} = \frac{106}{1 - (1 - \frac{106}{0,75 \cdot 520}) \cdot 0,166}$$

$$R_{fat,t(\kappa)} = 143,25 \text{ MPa} > |\sigma_{\max}| = 82,05 \text{ MPa}$$

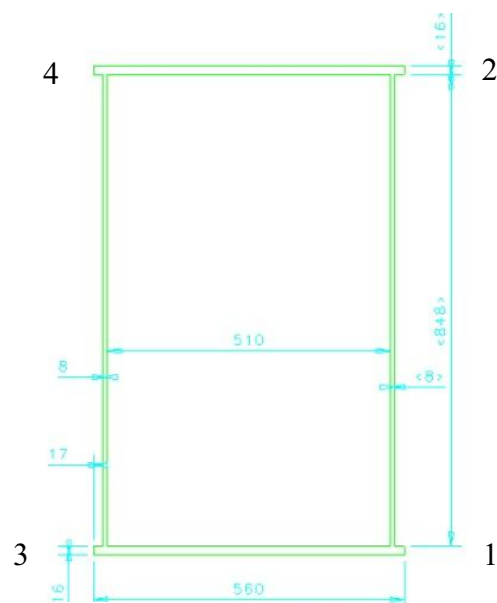
Závěr: Profil A v bodě průřezu 3 **vyhovuje** normě.

Kontrola pro další průřezy se počítá podobně, výsledky těchto výpočtů jsou v Tab. 6-1

### 6.1.2 Průřez B

Element 434, ZS11, bod průřezu 4 – tlak

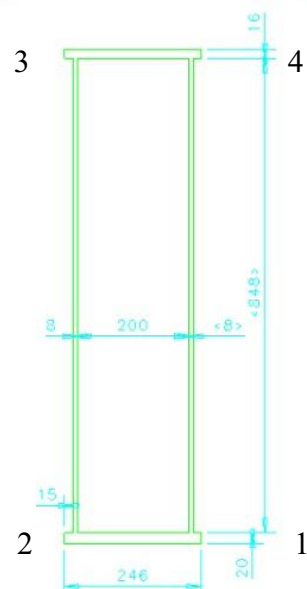
Element 434, ZS11, bod průřezu 3 – tah



### 6.1.3 Průřez C

Element 741, ZS11, bod průřezu 3 – tlak

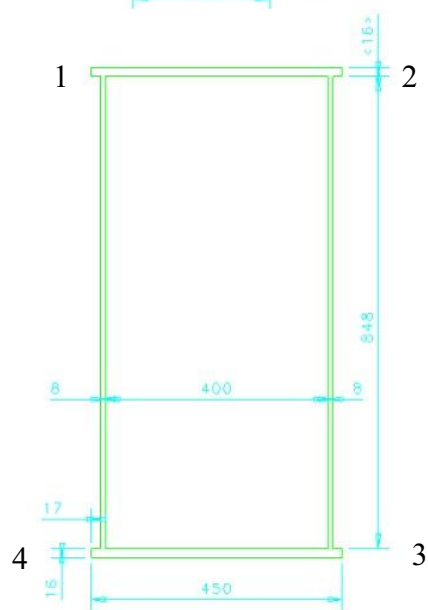
Element 741, ZS11, bod průřezu 1 – tah



### 6.1.4 Průřez D

Element 800, ZS12, bod průřezu 2 – tlak

Element 800, ZS11, bod průřezu 3 – tah



Tab. 6-1 Výsledky výpočtu na únavu u skořepinového modelu pro profily A, B, C, D

Průřez	Element	Bod průřezu	ZS	Pásnice	$\sigma_{max}$ [MPa]	$\sigma_{min}$ [MPa]	$\kappa$	Rfat,t( $\kappa$ ) [MPa]	Rfat,p( $\kappa$ ) [MPa]	Vyhovuje
A	192	4	12	horní	-79,52	-13,35	0,168		144,92	ANO
A	192	3	11	spodní	82,05	13,64	0,166	120,60		ANO
B	434	4	11	horní	-62,77	-11,45	0,182		146,68	ANO
B	434	1	11	spodní	67,17	11,85	0,176	121,62		ANO
C	741	3	11	horní	-79,09	-11,80	0,149		142,70	ANO
C	741	1	11	spodní	83,75	12,45	0,149	118,87		ANO
D	800	2	12	horní	-83,16	-15,81	0,190		147,63	ANO
D	800	3	11	spodní	89,11	16,80	0,188	122,86		ANO

## 6.2 Skořepinový model

U skořepinového modelu se posuzuje napětí v místě konstrukčního detailu, ale bez ovlivnění tvarovým vrubem. Tento vliv je již zohledněn ve vrubové skupině pro daný prvek. Pro kontrolní výpočet je tedy nutno odečítat redukované napětí Von Mises (HMH) poblíž posuzovaného prvku, kde se již neprojevuje zvýšené napětí od tohoto vrubu.

U tohoto modelu jsou opět nejvíce zatíženy nosníky s průřezy A, B, C, D a bude pro ně proveden kontrolní výpočet.

### 6.2.1 Průřez A

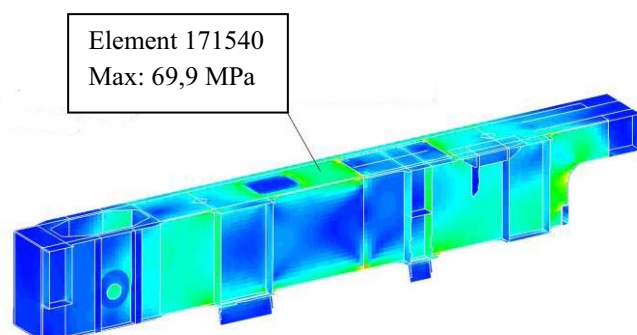
Element 171540, ZS18, horní pásnice, tlak

Element 102494, ZS11, spodní pásnice, tah

**Horní pásnice** - Element 171540, ZS18, tlak

ZS18:  $\sigma_{max} = 69,9 \text{ MPa}$

ZS2:  $\sigma_{min} = 12,1 \text{ MPa}$



Obr. 6-1 Umístění elementu 171540 na horní pásnici, levý nosník

poměr napětí:  $\kappa = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$  (6.9)

$$\kappa = \frac{12,1}{69,9}$$

$$\kappa = 0,173 \Rightarrow \text{míjivé namáhání}$$

Z [5], Tab. 17, str. 29

$$R_{fat,p(\kappa)} = \frac{R_{fat,p(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,p(0)}}{0,90 \cdot R_m}\right) \cdot \kappa} \quad (6.10)$$

$$R_{fat,p(\kappa)} = \frac{127,2}{1 - \left(1 - \frac{127,2}{0,90 \cdot 520}\right) \cdot 0,173}$$

$$R_{fat,p(\kappa)} = 145,58 \text{ MPa} > |\sigma_{max}| = 69,9 \text{ MPa}$$

Závěr: Profil A na horní pásnici **vyhovuje** normě.

**Spodní pásnice** - Element 102494, ZS11, tah

$$\text{ZS11: } \sigma_{max} = 55,8 \text{ MPa}$$

$$\text{ZS2: } \sigma_{min} = 9,34 \text{ MPa}$$

poměr napětí:  $\kappa = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$  (6.11)

$$\kappa = \frac{9,34}{55,8}$$

$$\kappa = 0,167 \Rightarrow \text{míjivé namáhání}$$

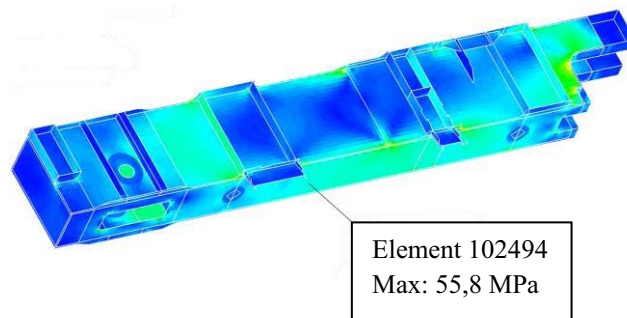
Z [5], Tab. 17, str. 29

$$R_{fat,t(\kappa)} = \frac{R_{fat,t(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,t(0)}}{0,75 \cdot R_m}\right) \cdot \kappa} \quad (6.12)$$

$$R_{fat,t(\kappa)} = \frac{106}{1 - \left(1 - \frac{106}{0,75 \cdot 520}\right) \cdot 0,167}$$

$$R_{fat,t(\kappa)} = 120,7 \text{ MPa} > |\sigma_{max}| = 55,8 \text{ MPa}$$

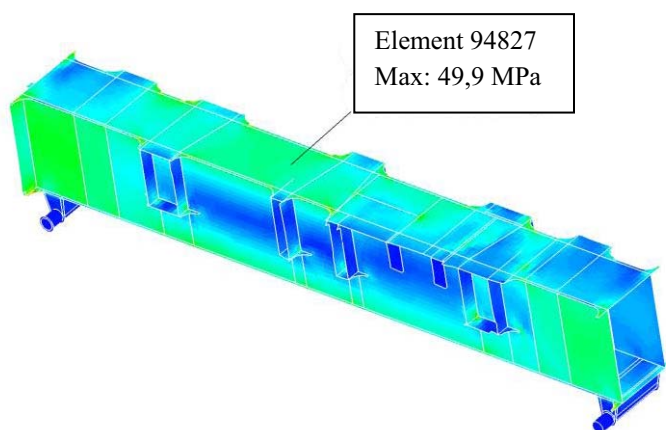
Závěr: Profil A ve spodní pásnici **vyhovuje** normě.



Obr. 6-2 Umístění elementu 102494 na spodní pásnici, levý nosník

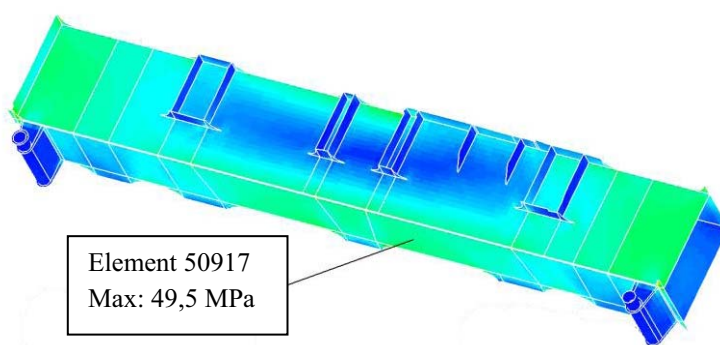
## 6.2.2 Průřez B

Element 94827, ZS19, horní pásnice, tlak



Obr. 6-3 Umístění elementu 94827 na horní pásnici

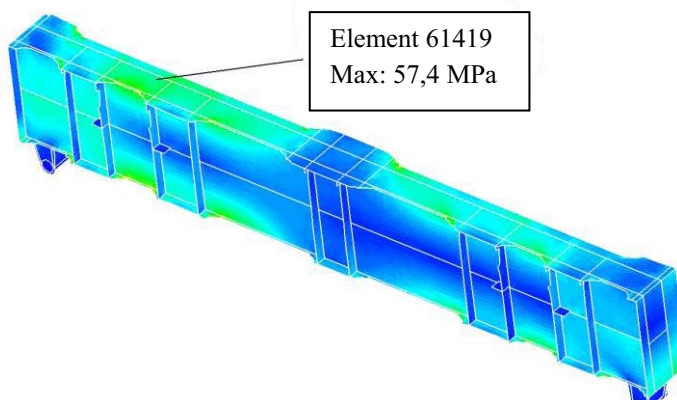
Element 50917, ZS19, spodní pásnice, tah



Obr. 6-4 Umístění elementu 50917 na spodní pásnici

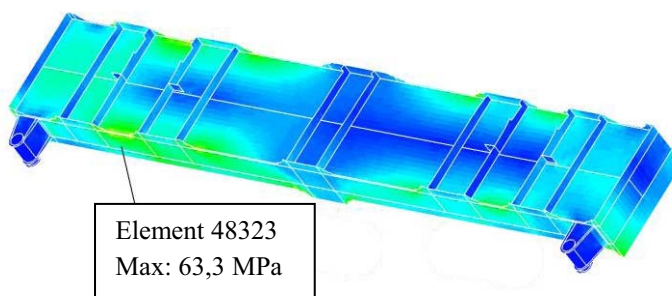
## 6.2.3 Průřez C

Element 61419, ZS11, horní pásnice, tlak



Obr. 6-5 Umístění elementu 61419 na horní pásnici

Element 48323, ZS10, spodní pásnice, tah

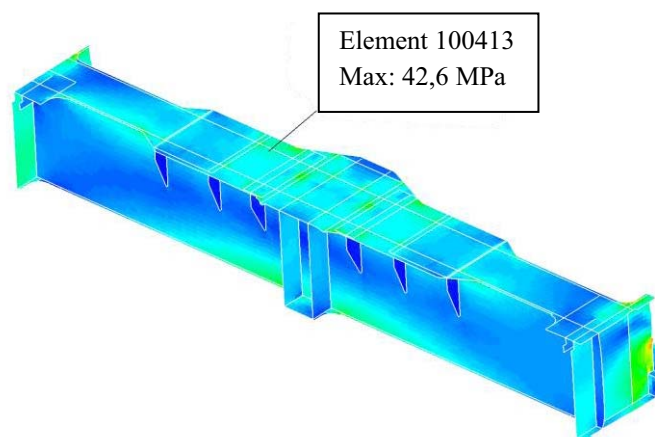


Obr. 6-6 Umístění elementu 48323 na spodní pásnici



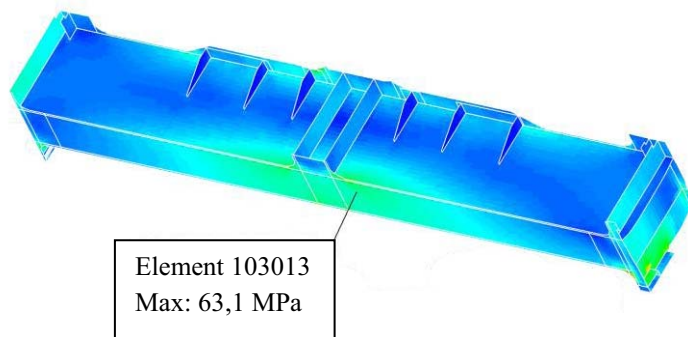
## 6.2.4 Průřez D

Element 100413, ZS13, horní pásnice, tlak



Obr. 6-7 Umístění elementu 100413 na horní pásnici

Element 103013, ZS10, spodní pásnice, tah



Obr. 6-8 Umístění elementu 103013 na spodní pásnici

Tab. 6-2 Výsledky výpočtu na únavu u skořepinového modelu pro profily A, B, C, D

Průřez	Element	ZS	Pásnice	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\kappa$	Rfat,t( $\kappa$ ) [MPa]	Rfat,p( $\kappa$ ) [MPa]	Vyhovuje
A	171540	18	horní	69,90	12,10	0,173		145,55	ANO
A	102494	11	spodní	55,80	9,34	0,167	120,71		ANO
B	94827	19	horní	49,90	9,69	0,194		148,15	ANO
B	50917	19	spodní	49,50	10,50	0,212	125,36		ANO
C	61419	11	horní	57,40	8,83	0,154		143,25	ANO
C	48323	10	spodní	63,30	9,54	0,151	119,07		ANO
D	100413	13	horní	42,60	9,18	0,215		150,88	ANO
D	103013	10	spodní	63,10	13,30	0,211	125,22		ANO

## 7. Závěr

Úkolem této závěrečné práce bylo pevnostní posouzení únosnosti rámu kočky mostového jeřábu, určeného pro slévárenský průmysl.

Práce se zabývá pevnostní kontrolou provedenou metodou konečných prvků s následnými kontrolními výpočty pro konstrukční detaily dané normou ČSN 27 0103. Předmětem kontroly byl nosný rám kočky mostového licího jeřábu o nosnosti 120/40t a rozpětí zdvihu 21 m, vyroben firmou Královopolská a.s. Brno, který byl vyroben pro SSM Strážské.

Pevnostní výpočet byl řešen v prostředí programu I-DEAS, který je vhodný pro řešení modelů metodou MKP. Byly vytvořeny dva typy modelů pro analýzu. Prutový model, který se skládá ze střednic svých profilů. Síť, která se přiřazovala střednicím, byla tvořena příslušnými profily. Druhým typem je model skořepinový. Tento model je tvořen střednicovými plochami, kterým se při tvorbě sítě přiřazovaly příslušné tloušťky materiálu. Modely byly zatížené silami a momenty, které vycházejí od vlastní hmotnosti rámu, hmotnosti strojních zařízení, stálého břemene a jmenovitého břemene.

Pevnostní výpočet rámu potvrdil předpoklad předdimenzovaného rámu. Pro daná místa na konstrukci byla výsledná napětí, z programu I-DEAS, porovnána s výpočtovými napětími při únavě. U prutového modelu bylo bráno maximální napětí z krajních bodů 1 – 4 jednotlivých profilů pro daný element. U skořepinového modelu se počítalo s maximálními napětími pro daný element v místech na konstrukci, která nebyla již ovlivněna vrubem. Dle těchto výpočtů vychází, že konstrukce rámu kočky je v kontrolovaných místech dostatečně předdimenzovaná.

U skořepinového modelu se vyskytují napěťové špičky, které způsobuje zatížení od kladek zdvihu 120t. V porovnání s prutovým modelem, je skořepinový model tužší konstrukcí. Vyplývá to z velikostí napětí, které se na konstrukci vyskytují. Kromě již zmíněných špiček, je na skořepinovém modelu menší napětí. Je to především způsobeno velkým množstvím žeber, která se na konstrukci vyskytují a tím ji zpevňují.

## 8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Feyrer K.: Drahtseile, ed. Springer, Berlin, 2000, s. 468, ISBN-10: 3-540-67829-8, ISBN-13: 978-3-540-67829-8
- [2] Hoffmann, K., Krenn, E., Tanker, G.: Fördertechnik 1, ed. Oldenbourg Industrieriverla, 2005, s. 240, ISBN-10: 3-8356-3059-8, ISBN-13: 978-3-8356-3059-8.
- [3] Hoffmann, K., Krenn, E., Tanker, G.: Fördertechnik 2, ed. Oldenbourg Industrieriverla, 2006, s. 320, ISBN-10: 3-8356-3060-1, ISBN-13: 978-3-8356-3060-4.
- [4] Osterrieder P.; Richter S.: Kranbahnträger aus Walzprofilen, ed. Vieweg, 2002, s. 299, ISBN-10: 3-528-12559-4, ISBN-13: 978-3-528-12559-2.
- [5] ČSN 27 0103: *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů*, 1989.
- [6] Kašpárek, J.: *Dopravní a manipulační zařízení pro posluchače bakalářského studia FSI VUT v Brně*, Brno: Ústav dopravní techniky, 2002, 126 s.
- [7] Malášek, J.: *Transportní zařízení*, skripta, Brno 2011
- [8] *Rám kočky 120t(130t)/40t*. Brno: Královopolská, a.s. 2009. 64 s.
- [9] *Jeřáby* [online]. c2009 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z: <http://jeraby.webnode.cz/>
- [10] *Slevárenská odvětví, jeřáb Iteco* [online]. c2006 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z: <http://www.iteco.cz/specialni-jeraby/trideni-dle-provozu/slevarenska-odvetvi/>
- [11] *Jeřáb (stroj)* [online]. c2011, poslední revize 8.5.2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Jeřáb\\_\(stroj\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Jeřáb_(stroj))
- [12] *Jeřáby sloupové otočné o 360°* [online]. c2011 [cit. 2011-05-07]. Dostupné z: [http://www.jerabyjilove.cz/?page\\_id=7](http://www.jerabyjilove.cz/?page_id=7).
- [13] *Navijáky a jeřáby – Agri Fair s.r.o.* [online]. c2007 [cit. 2011-05-07]. Dostupné z: <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=catalogue&itid=13&icid=7>.
- [14] *Části strojů* [online]. c2011 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z: <http://www.sps-karvina.cz/www/polstina/slovník/transportni.htm>
- [15] *LIEBHERR 32TT věžový jeřáb* [online]. c2006 [cit. 2011-05-09]. Dostupné z: <http://www.toyshop.cz/5/1127/LIEBHERR-32TT-vezovy-jerab>.
- [16] *Speciální mostové jeřáby – GIGA – jeřáby a kladkostroje* [online]. c2010 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/produkty-specialni-jeraby.html>.
- [17] *Mostové jeřáby jednonosíkové – GIGA – jeřáby a kladkostroje* [online]. c2010 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/produkty-jednonosnikove-jeraby.html>.

- [18] *Portálové jeřáby a poloportálové jeřáby GIGA – GIGA – jeřáby a kladkostroje* [online]. c2010 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/produkty-jednonosnikove-jeřaby.html>.
- [19] VESELÝ, V. *Mostový jeřáb 18 t x 28 m*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 46 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.
- [20] DAŇHEL, O. *Jeřáb mostový 50 t – 27 m*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 95 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

## 9. Seznam použitých zkratk a symbolů

$\gamma_g$	-	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti
$\delta_h$	-	dynamický zdvihový součinitel
$\gamma_{10}$	-	součinitel zatížení od břemena
$\gamma_i$	-	součinitel zatížení od setrvačných sil
$E$	[MPa]	modul pružnosti v tlaku, tahu
$G$	[MPa]	modul pružnosti ve smyku
$g_z$	[ $m \cdot s^{-2}$ ]	tíhové zrychlení pro prutový, skořepinový model
$i_K$	-	součinitel zatížení od kočky
$i_M$	-	součinitel zatížení od mostu
$\kappa$	-	poměr mezních napětí
$\mu$	-	součinitel tření mezi kolejnicí a kolem
$\rho$	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]	hustota materiálu
$R_d$	[MPa]	výpočtová pevnost
$R_{fat(-1)}$	[MPa]	základní výpočtová pevnost při únavě
$R_{fat(\kappa)}$	[MPa]	výpočtová pevnost při únavě pro dané $\kappa$
$R_{fat,p(0)}$	[MPa]	výpočtová pevnost při únavě pro tlak
$R_{fat,t(0)}$	[MPa]	výpočtová pevnost při únavě pro tah
$\sigma_{max}$	[MPa]	maximální napětí
$\sigma_{min}$	[MPa]	minimální napětí
$\sigma_x$	[MPa]	napětí v ose x
$\sigma_y$	[MPa]	napětí v ose y
$\sigma_z$	[MPa]	napětí v ose z
$v_h$	[ $m \cdot min^{-1}$ ]	rychlost zdvihu
$v_t$	[ $m \cdot min^{-1}$ ]	rychlost pojezdu jeřábu

## 10. Seznam příloh

**Příloha 1:** Přehled umístění elementů na nosnících A, B, C, D, které se používají pro kontrolní výpočet

**Příloha 2:** Přehled nosníků

**Příloha 3:** Výsledky zátěžového stavu 1

**Příloha 4:** Výsledky zátěžového stavu 2

**Příloha 5:** Výsledky zátěžového stavu 3

**Příloha 6:** Výsledky zátěžového stavu 4

**Příloha 7:** Výsledky zátěžového stavu 6

**Příloha 8:** Výsledky zátěžového stavu 7

**Příloha 9:** Výsledky zátěžového stavu 8

**Příloha 10:** Výsledky zátěžového stavu 9

**Příloha 11:** Výsledky zátěžového stavu 10

**Příloha 12:** Výsledky zátěžového stavu 11

**Příloha 13:** Výsledky zátěžového stavu 12

**Příloha 14:** Výsledky zátěžového stavu 13

**Příloha 15:** Výsledky zátěžového stavu 14

**Příloha 16:** Výsledky zátěžového stavu 15

**Příloha 17:** Výsledky zátěžového stavu 16

**Příloha 18:** Výsledky zátěžového stavu 17

**Příloha 19:** Výsledky zátěžového stavu 18

**Příloha 20:** Výsledky zátěžového stavu 19

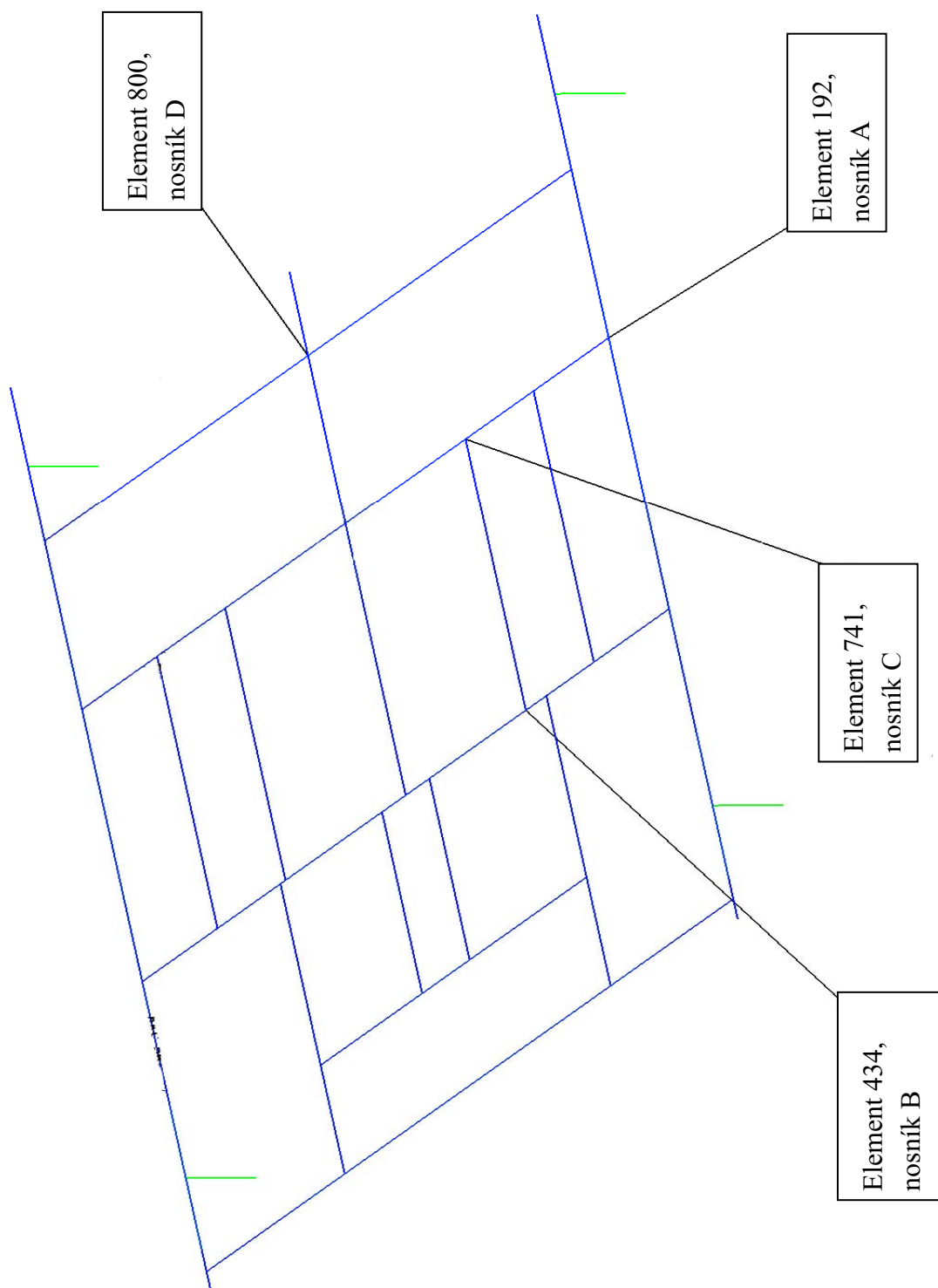
**Příloha 21:** Výsledky zátěžového stavu 20

**Příloha 22:** Výsledky zátěžového stavu 21

## 11. Přílohy

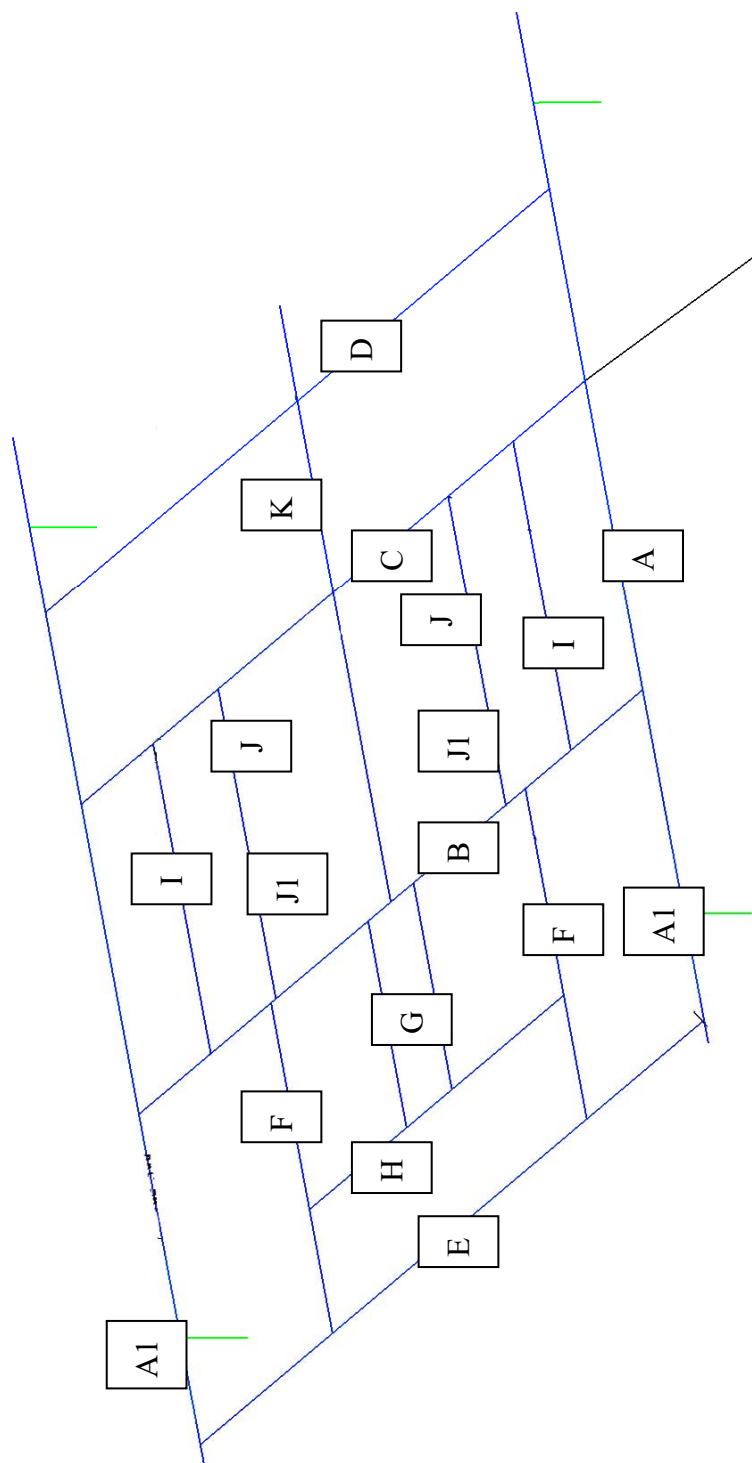
### Příloha 1

Přehled umístění elementů na nosnících A, B, C, D, které se používají pro kontrolní výpočet



## Příloha 2

Přehled nosníků

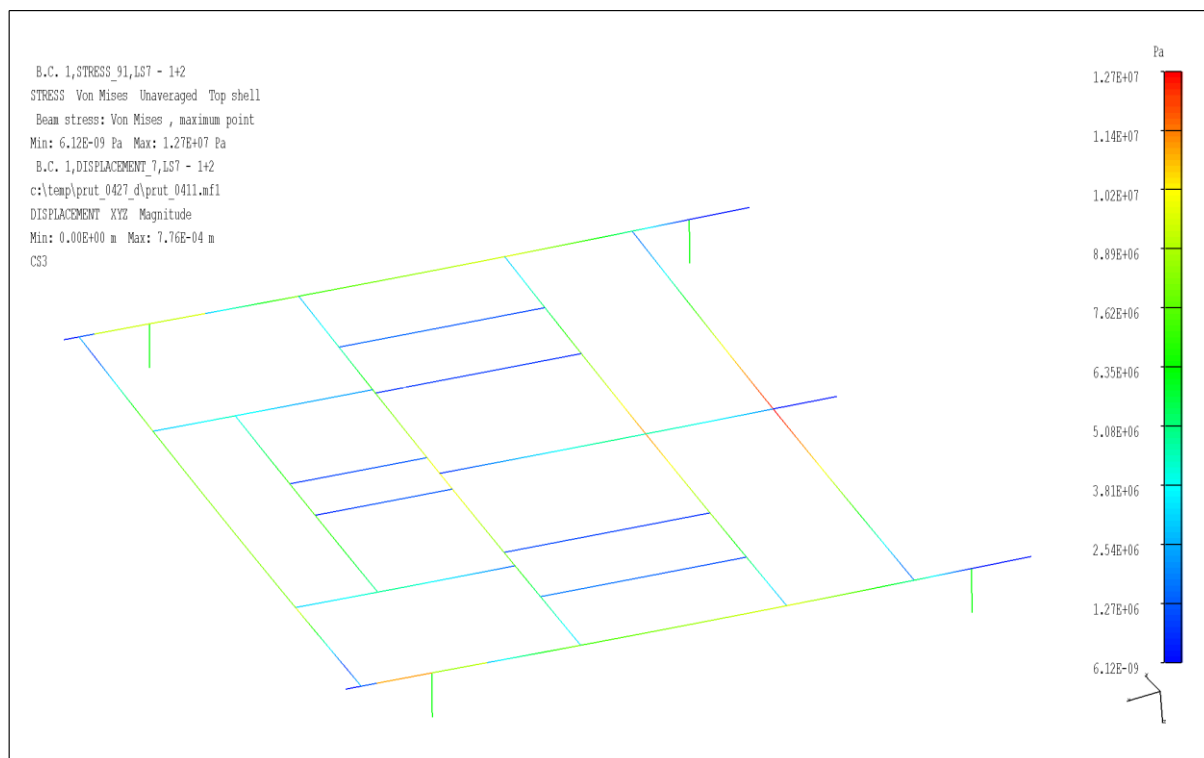




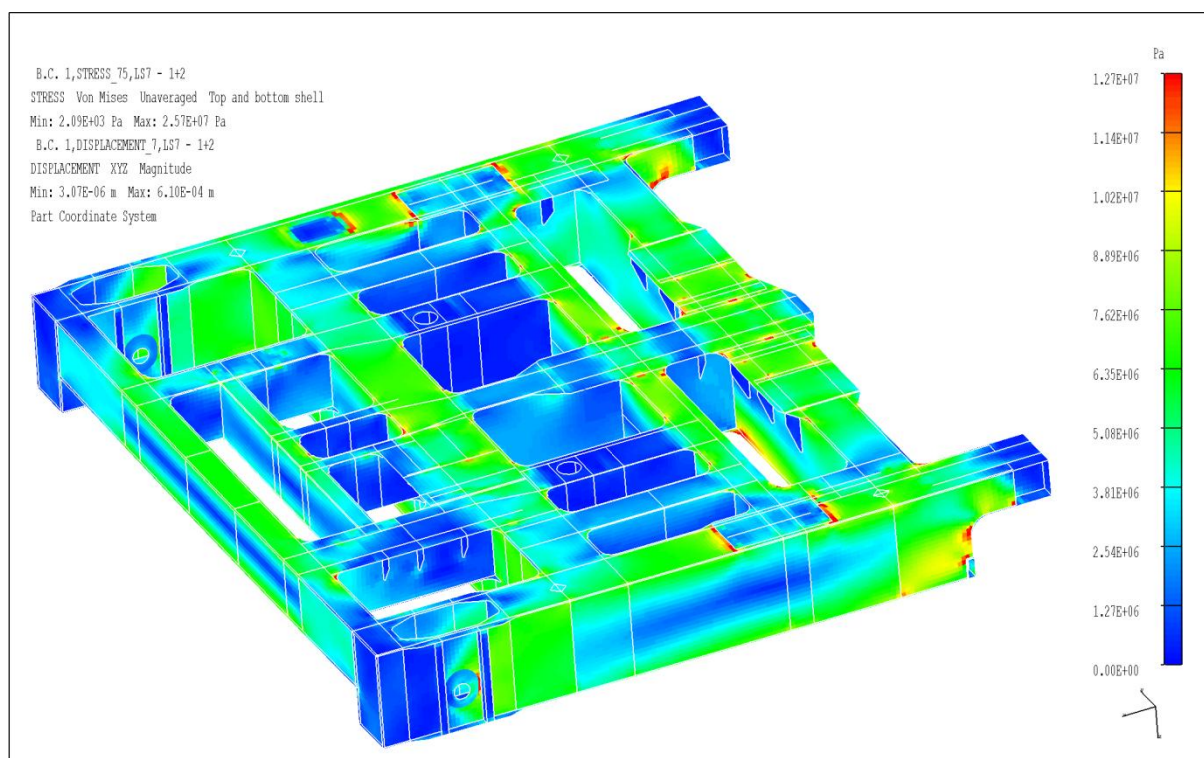
### Příloha 3

#### Výsledky zátěžového stavu 1

#### Prutový model – scale factor:50



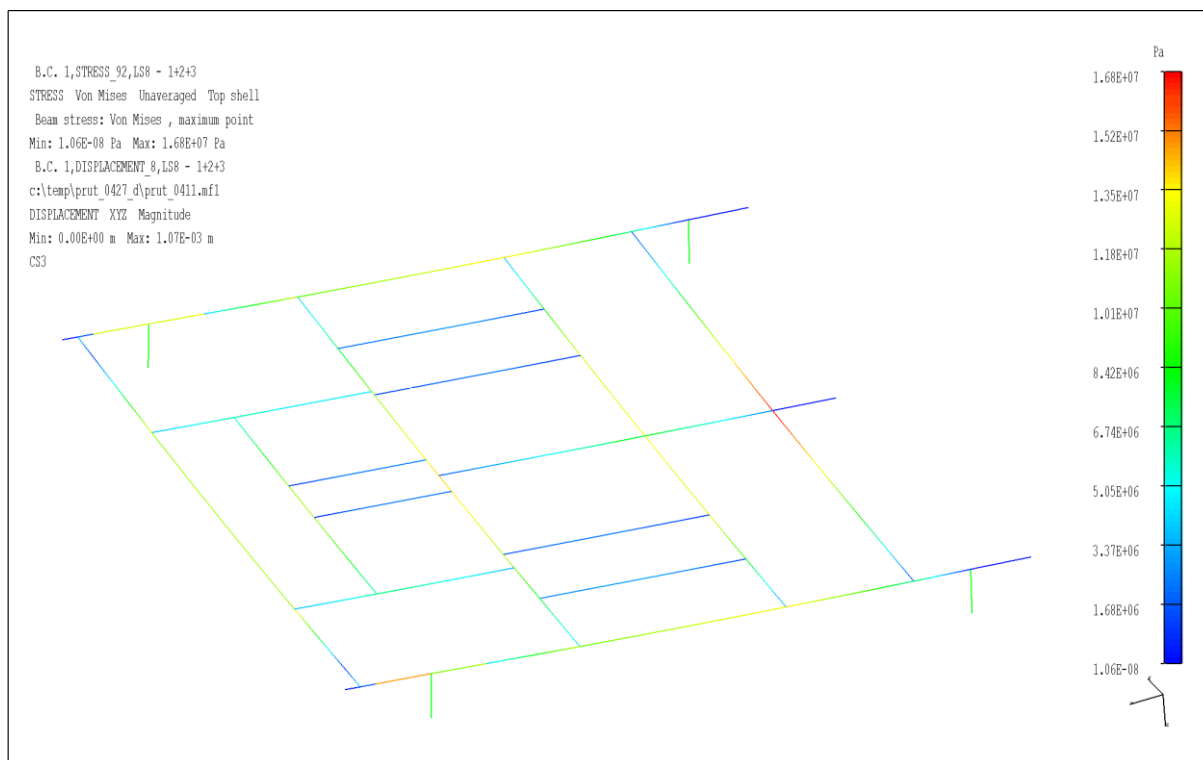
#### Skořepinový model – scale factor:50



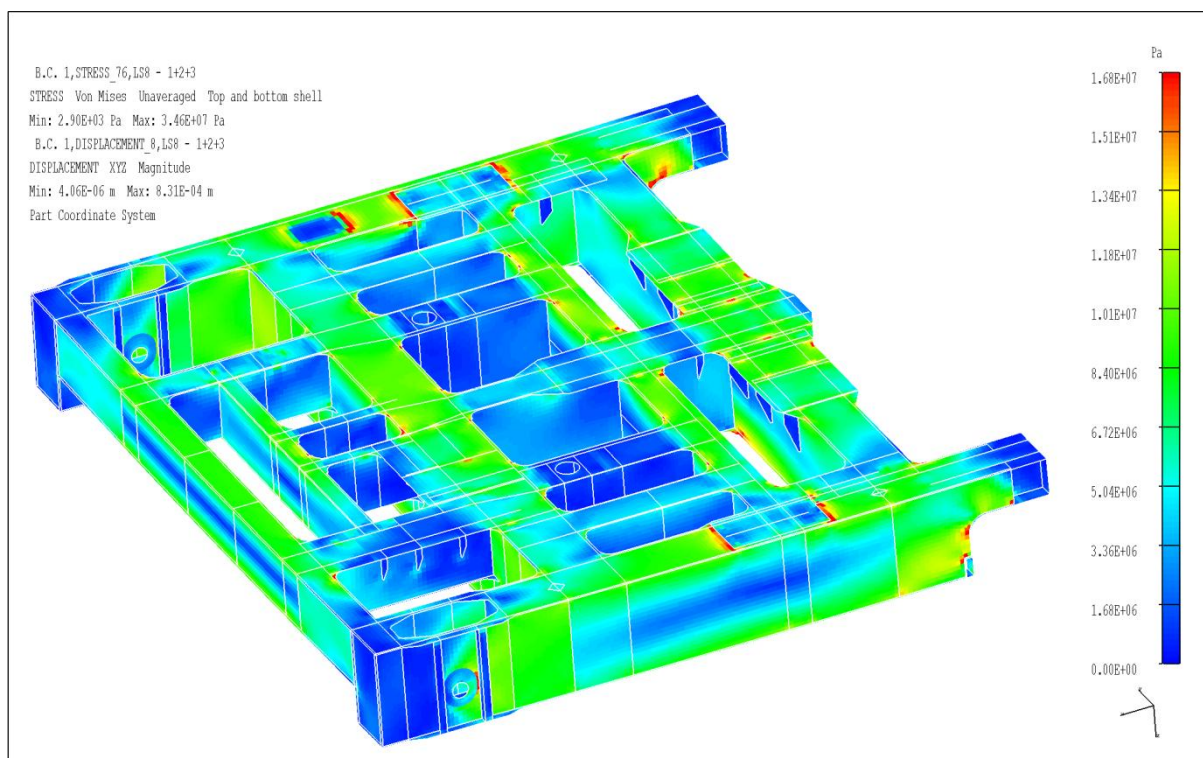
## Příloha 4

### Výsledky zátěžového stavu 2

#### Prutový model – scale factor:50



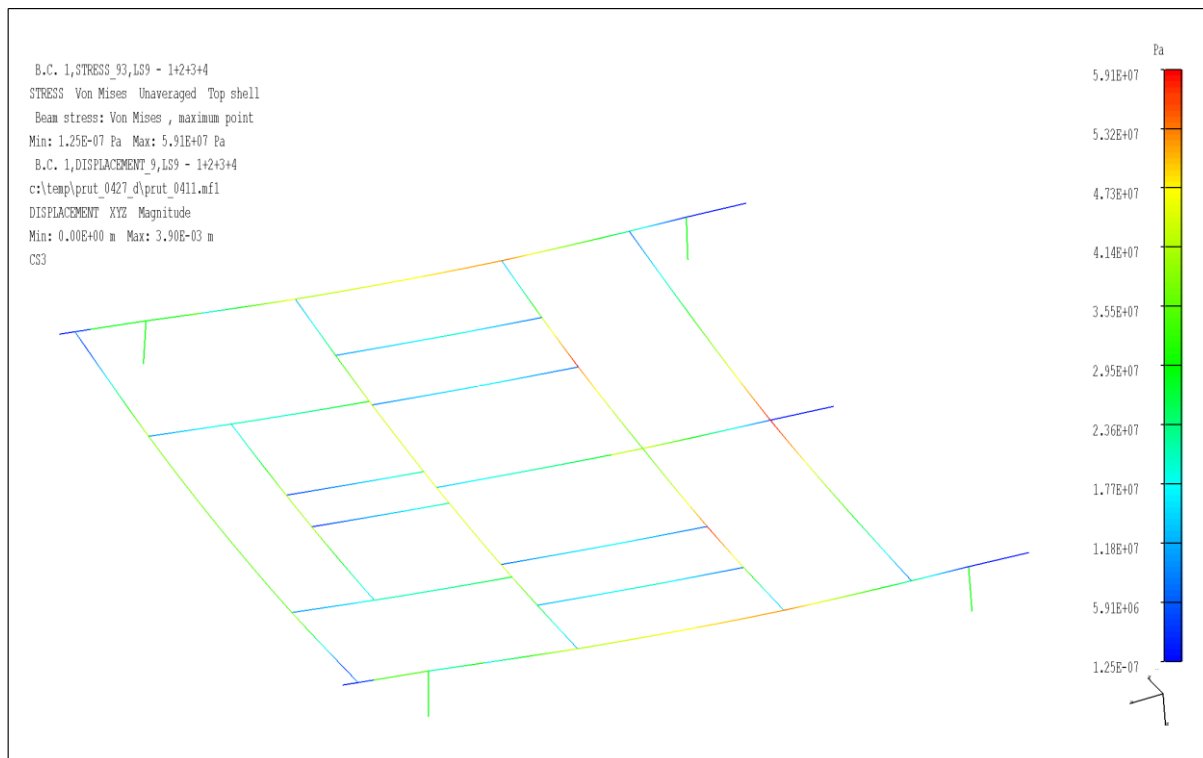
#### Skořepinový mode I – scale factor:50



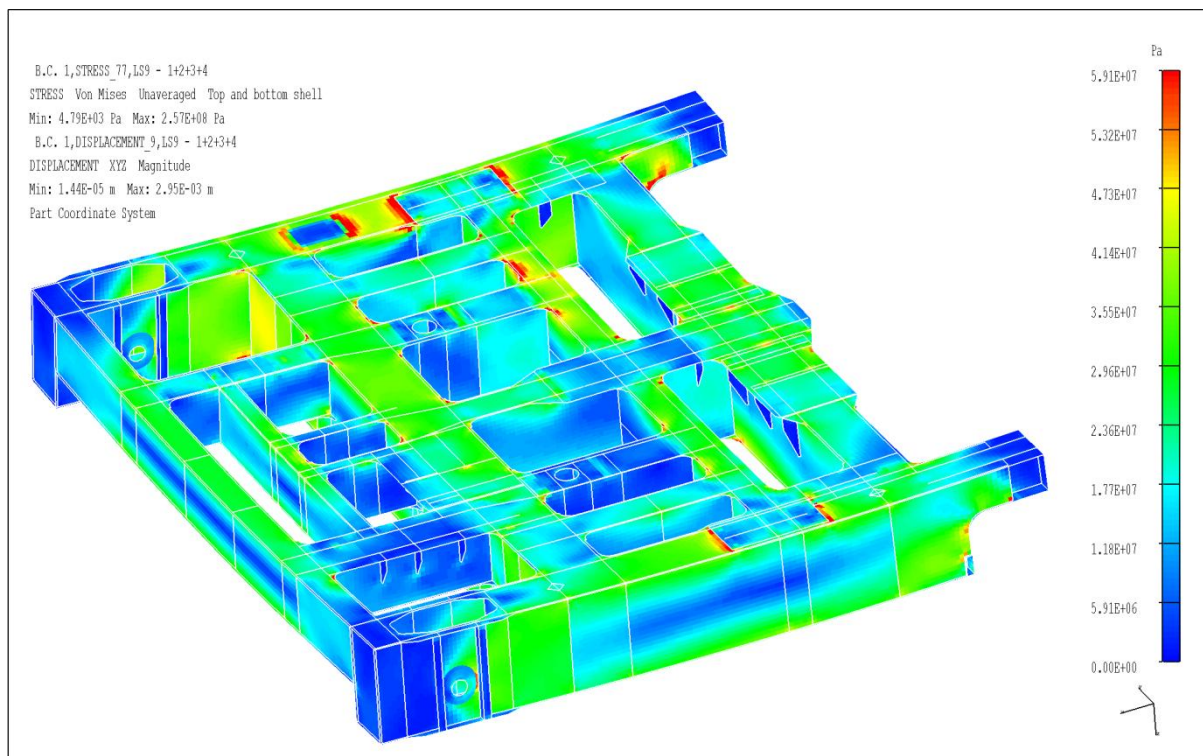
## Příloha 5

### Výsledky zátěžového stavu 3

#### Prutový model – scale factor:50



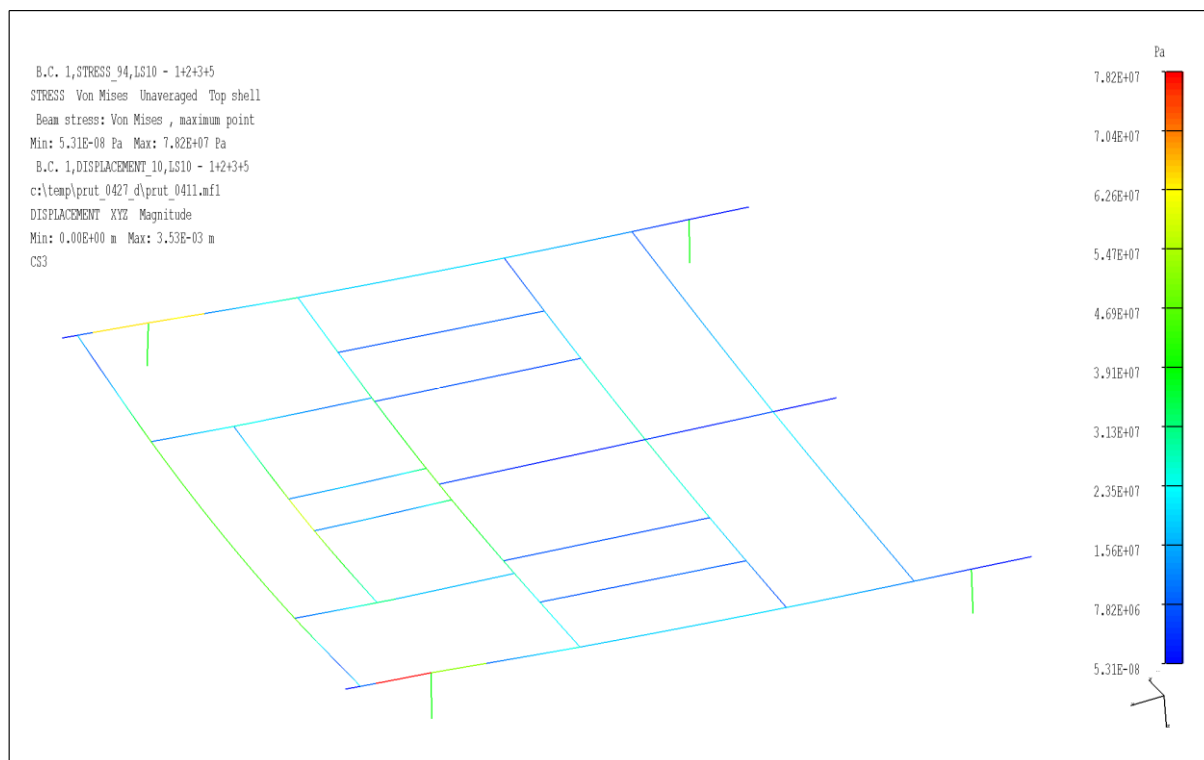
#### Skořepinový model – scale factor:50



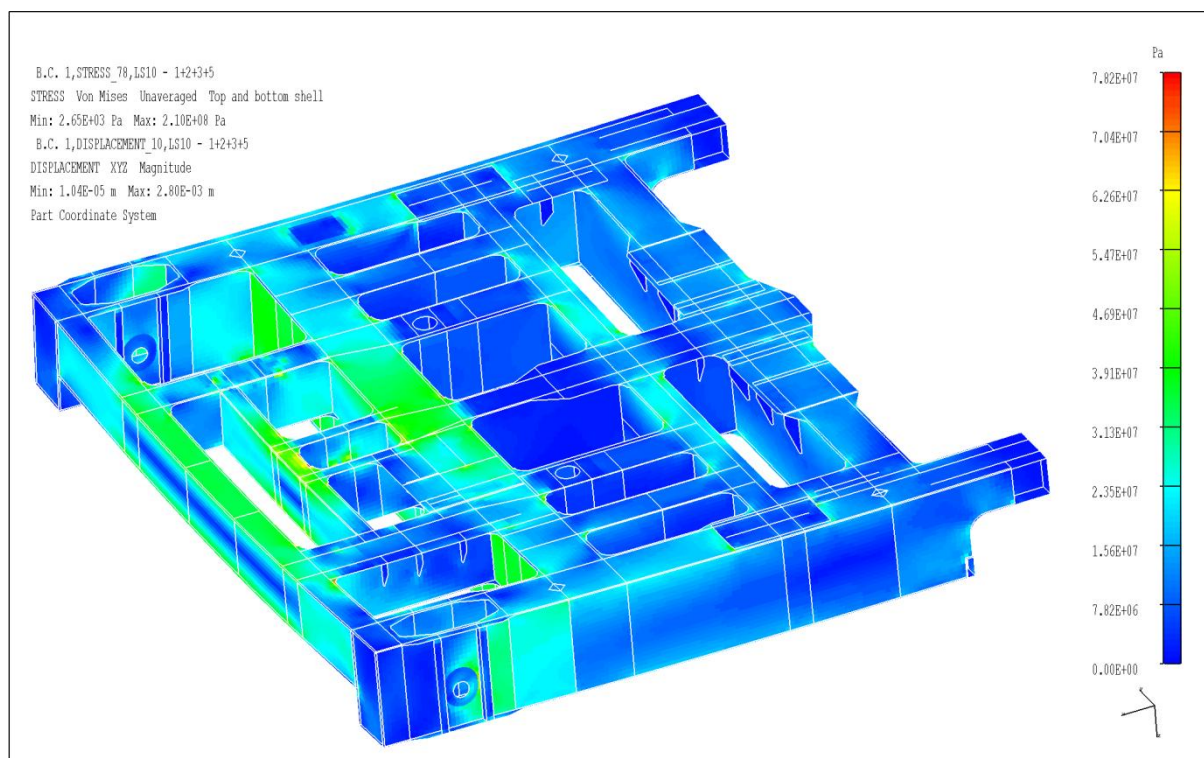
## Příloha 6

### Výsledky zátěžového stavu 4

#### Prutový model – scale factor:50



#### Skořepinový model – scale factor:50

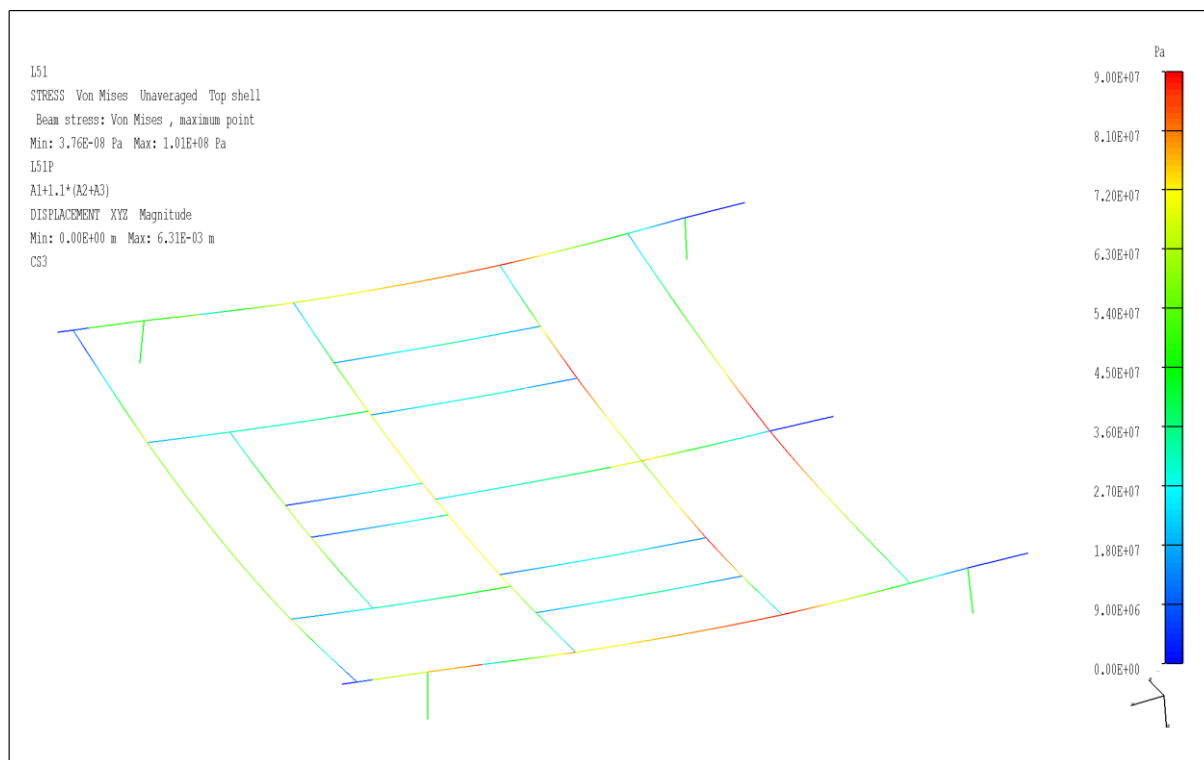




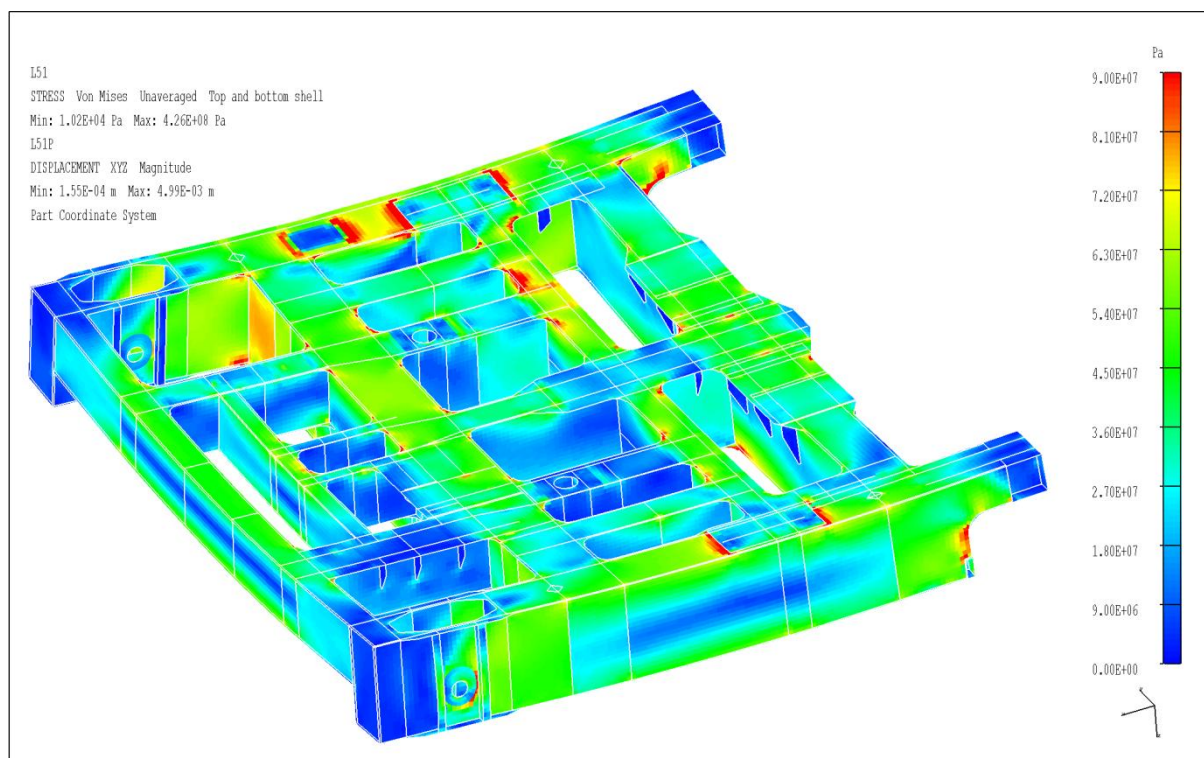
## Příloha 7

### Výsledky zátěžového stavu 6

#### Prutový model – scale factor:50



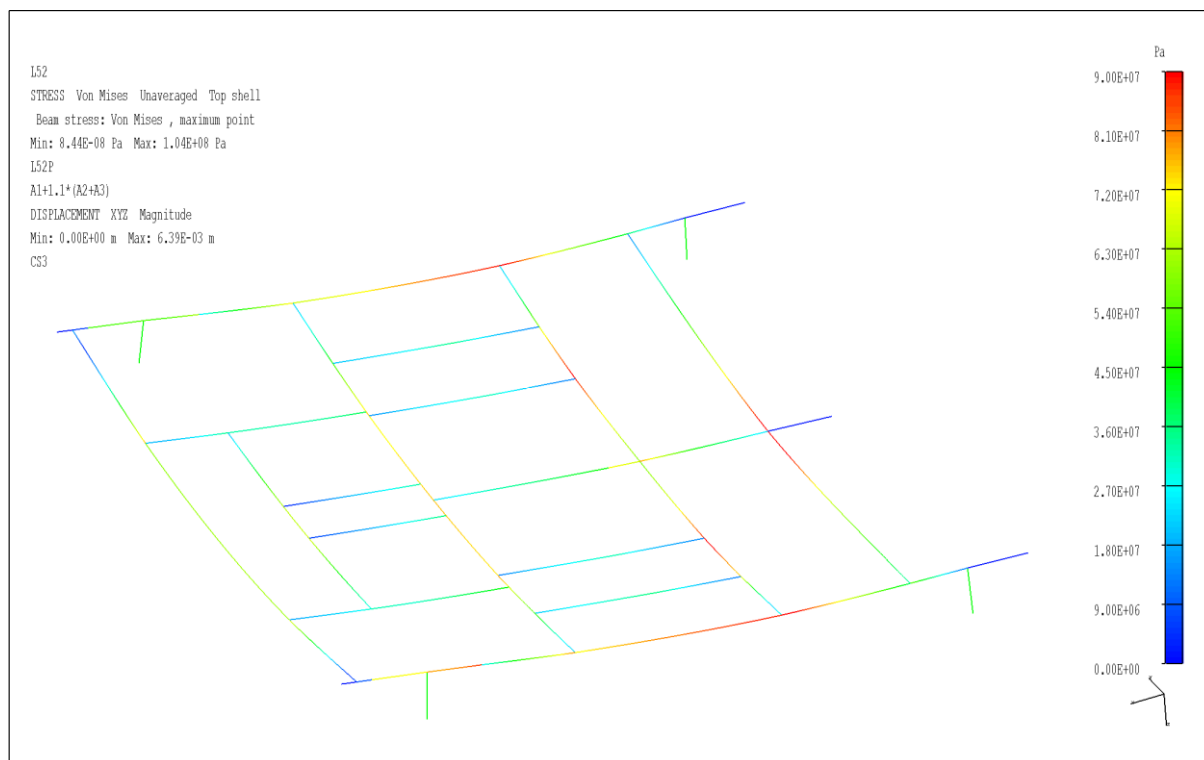
#### Skořepinový model – scale factor:50



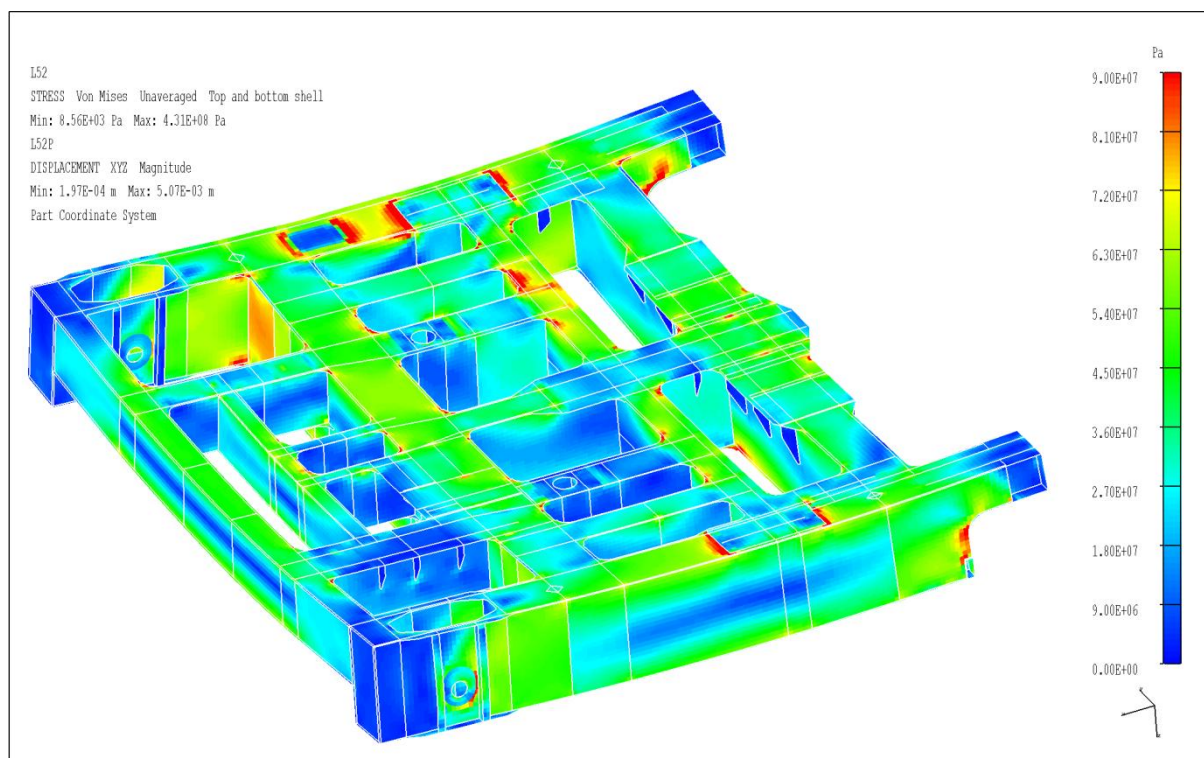
## Příloha 8

### Výsledky zátěžového stavu 7

#### Prutový model – scale factor:50



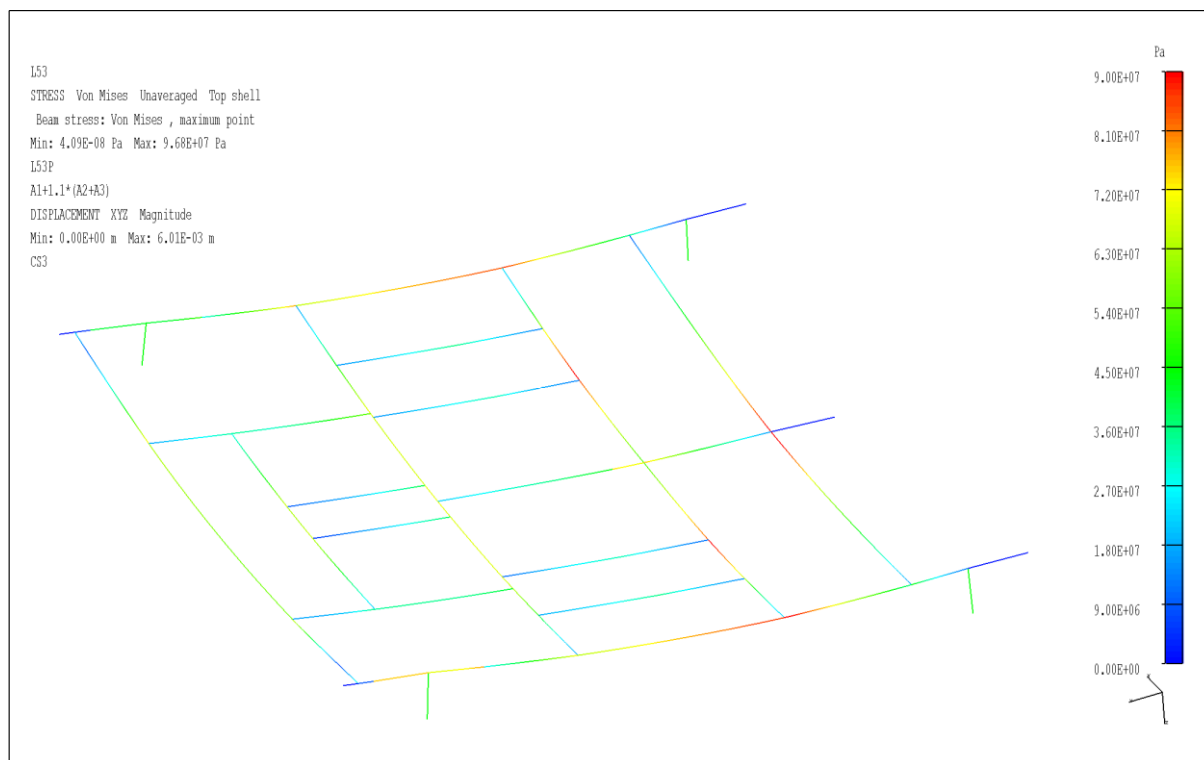
#### Skořepinový model – scale factor:50



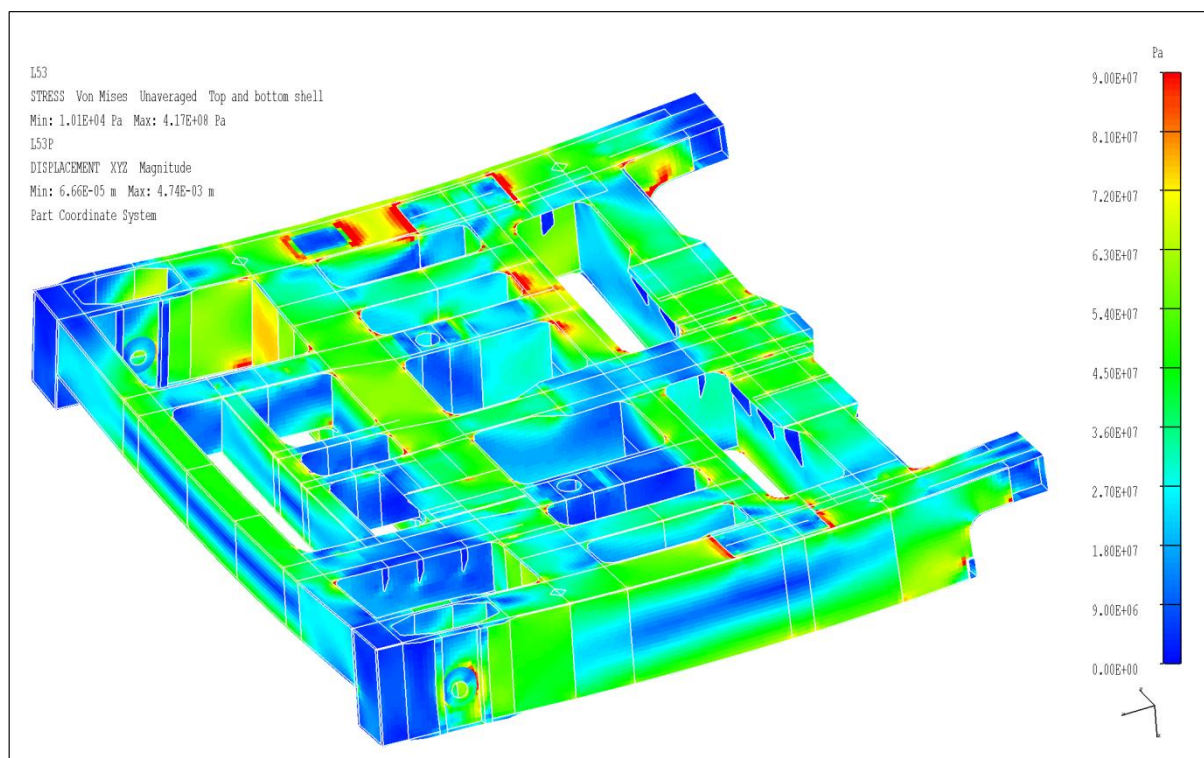
## Příloha 9

### Výsledky zátěžového stavu 8

#### Prutový model – scale factor:50



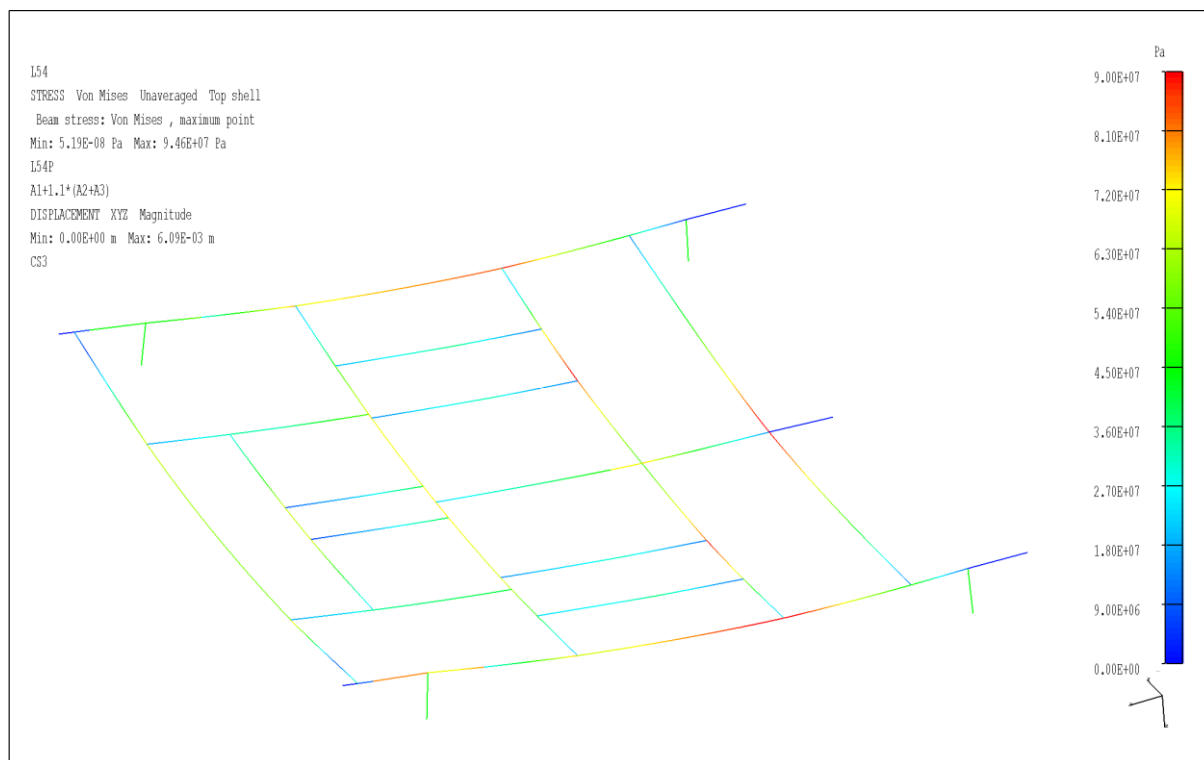
#### Skořepinový model – scale factor:50



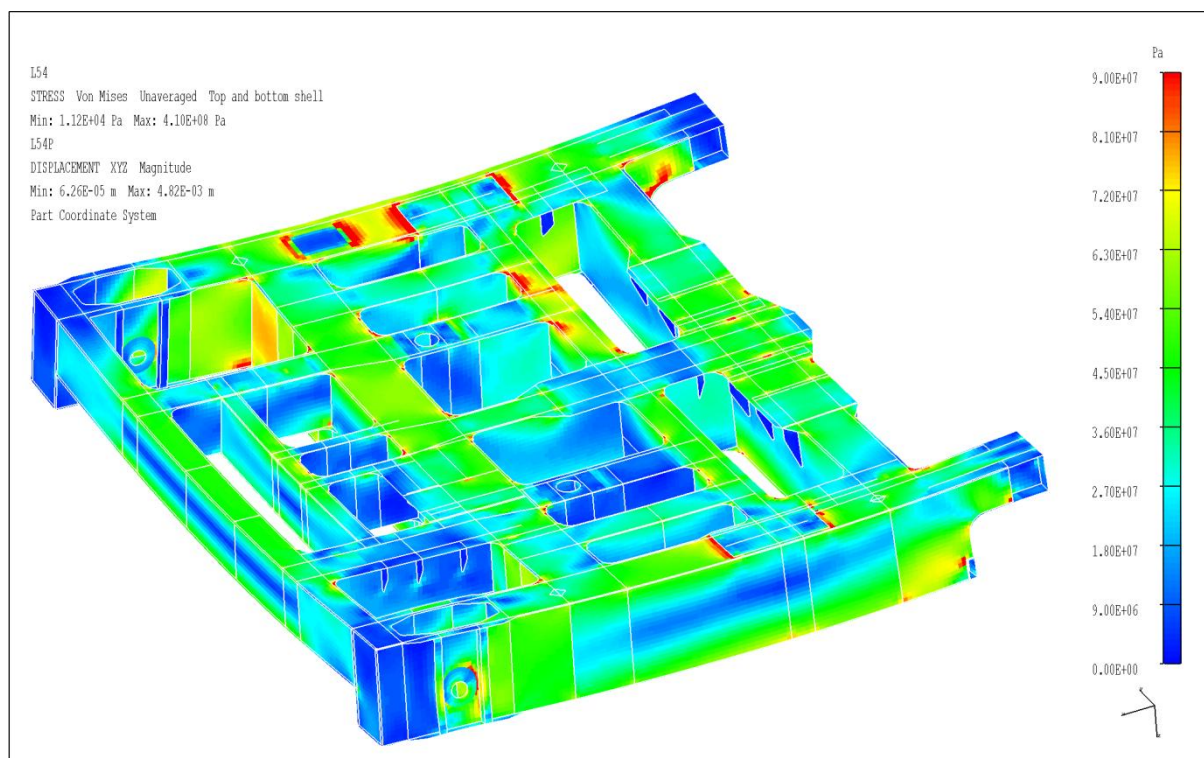
## Příloha 10

### Výsledky zátěžového stavu 9

#### Prutový model – scale factor:50



#### Skořepinový model – scale factor:50

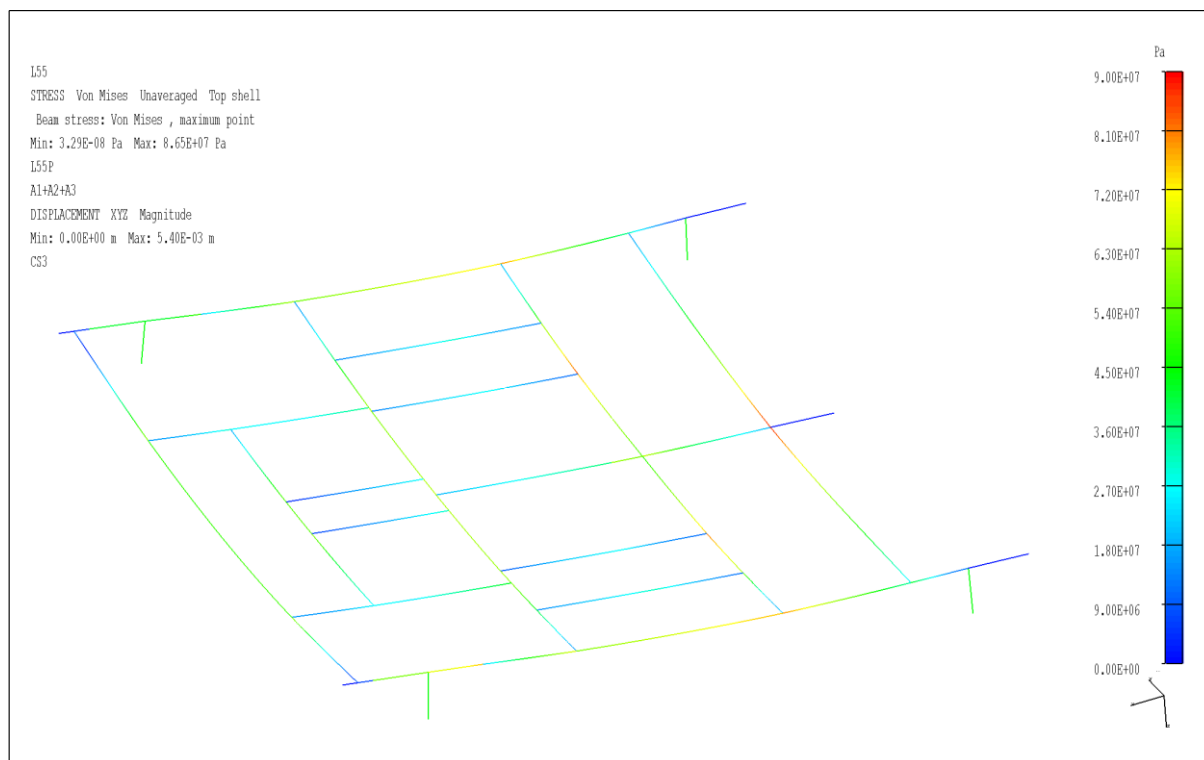




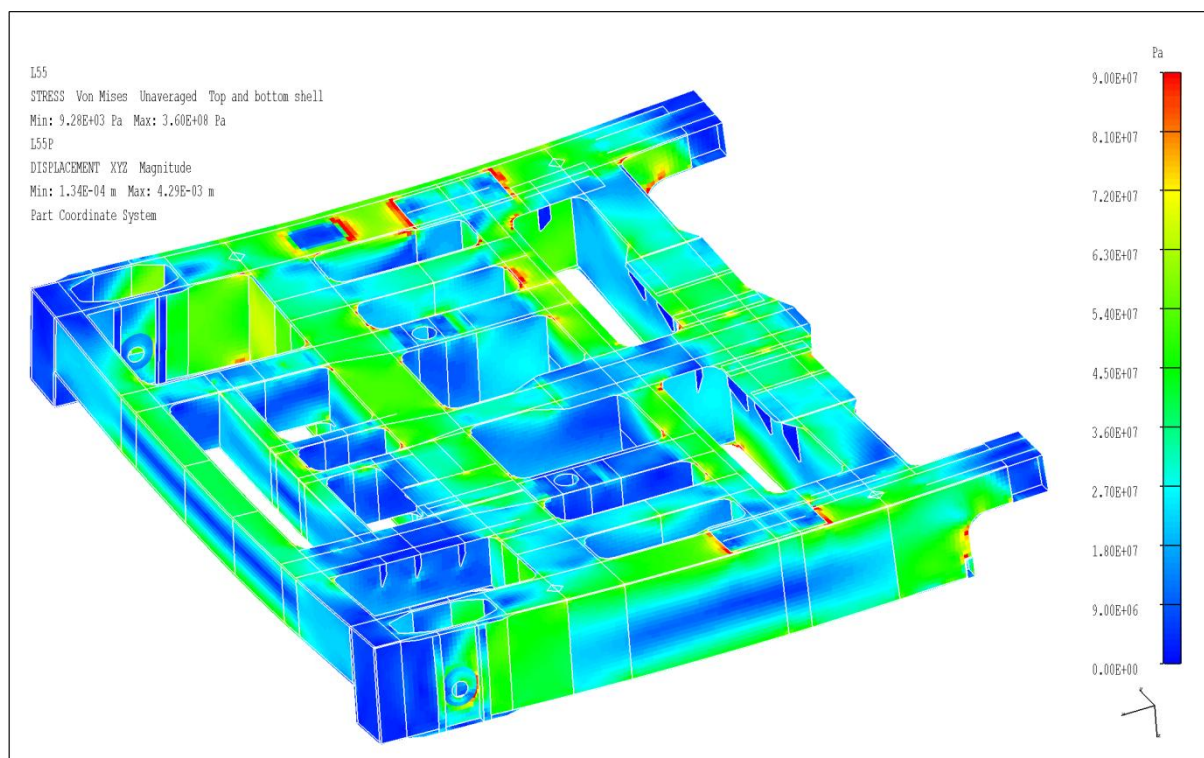
## Příloha 11

### Výsledky zátěžového stavu 10

#### Prutový model – scale factor:50



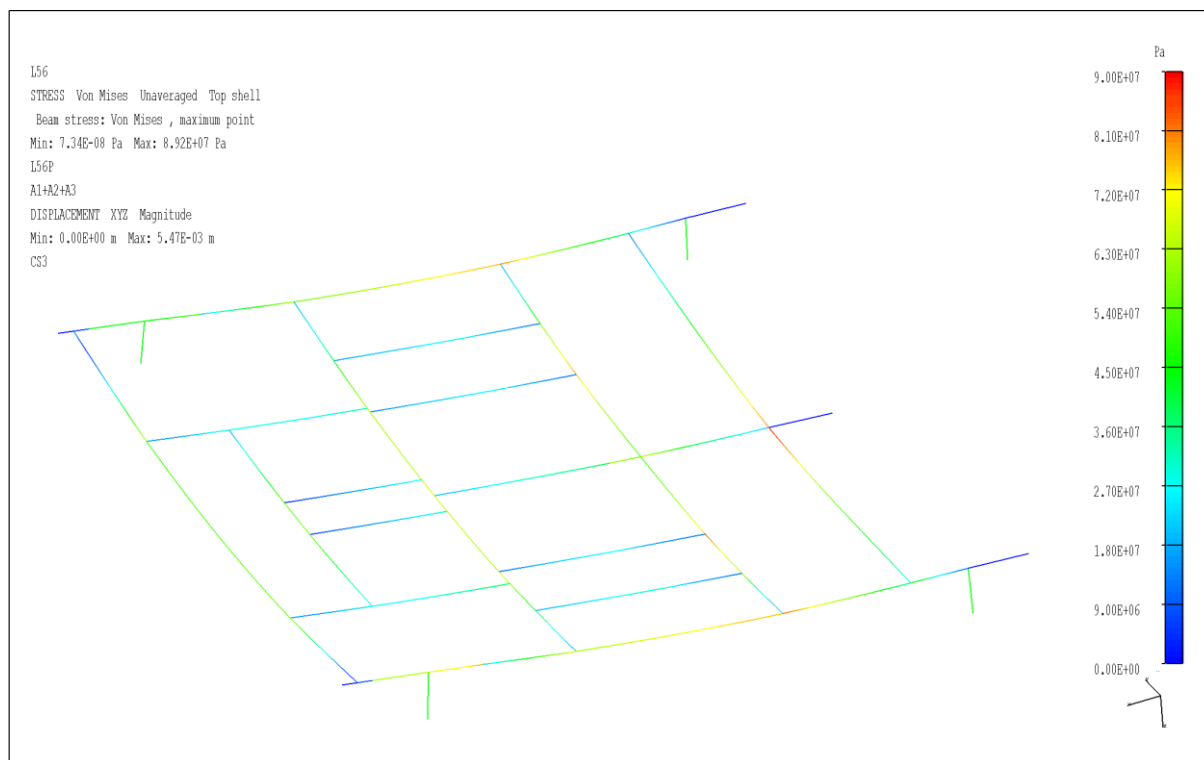
#### Skořepinový model – scale factor:50



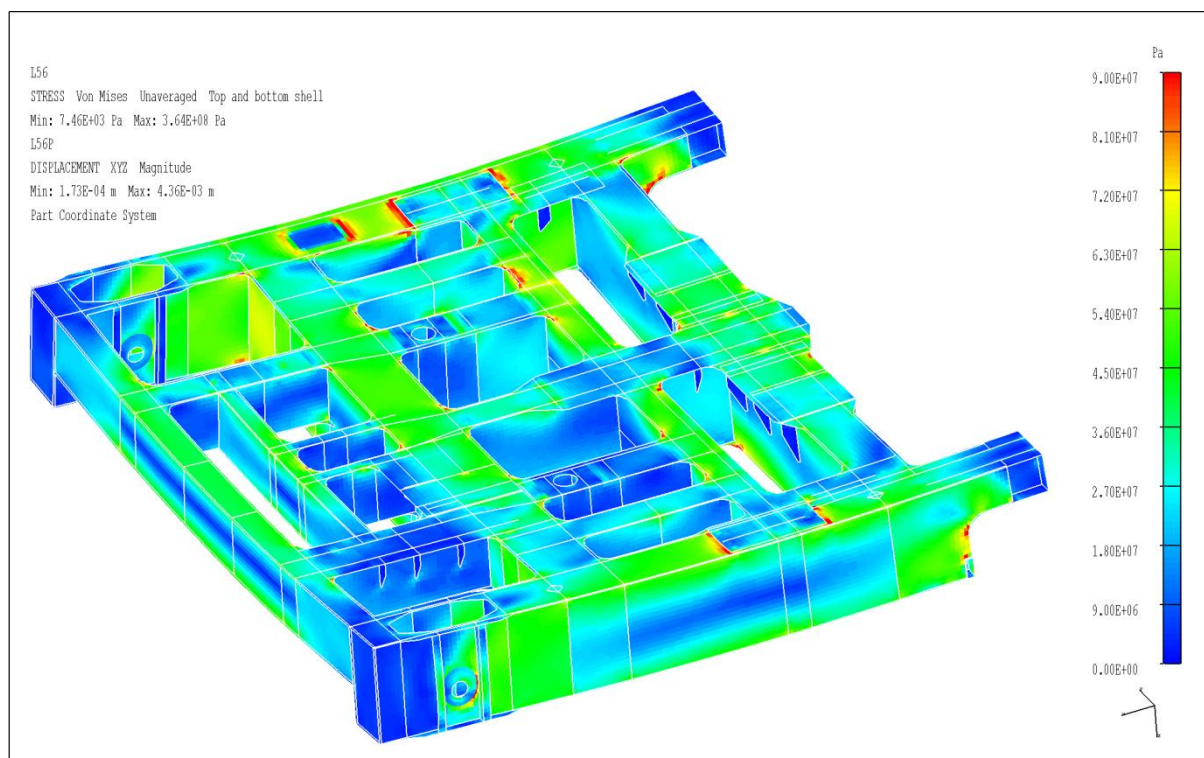
## Příloha 12

### Výsledky zátěžového stavu 11

#### Prutový model – scale factor:50



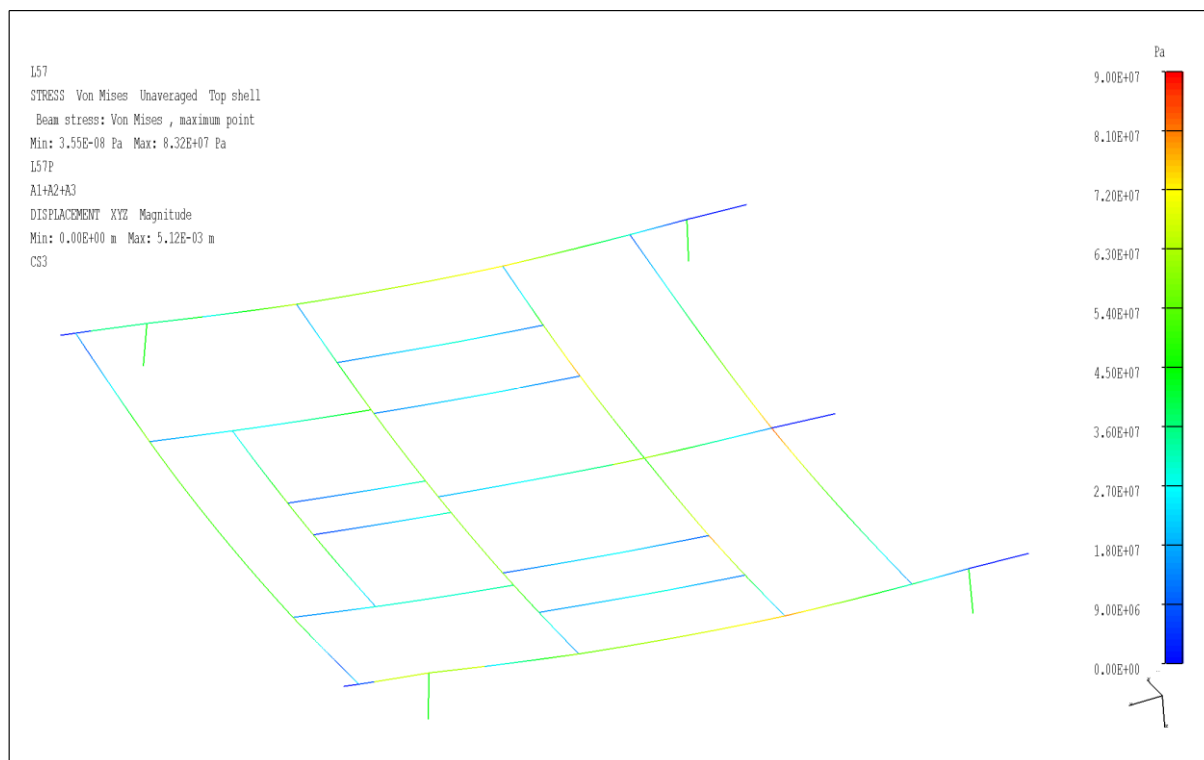
#### Skořepinový model – scale factor:50



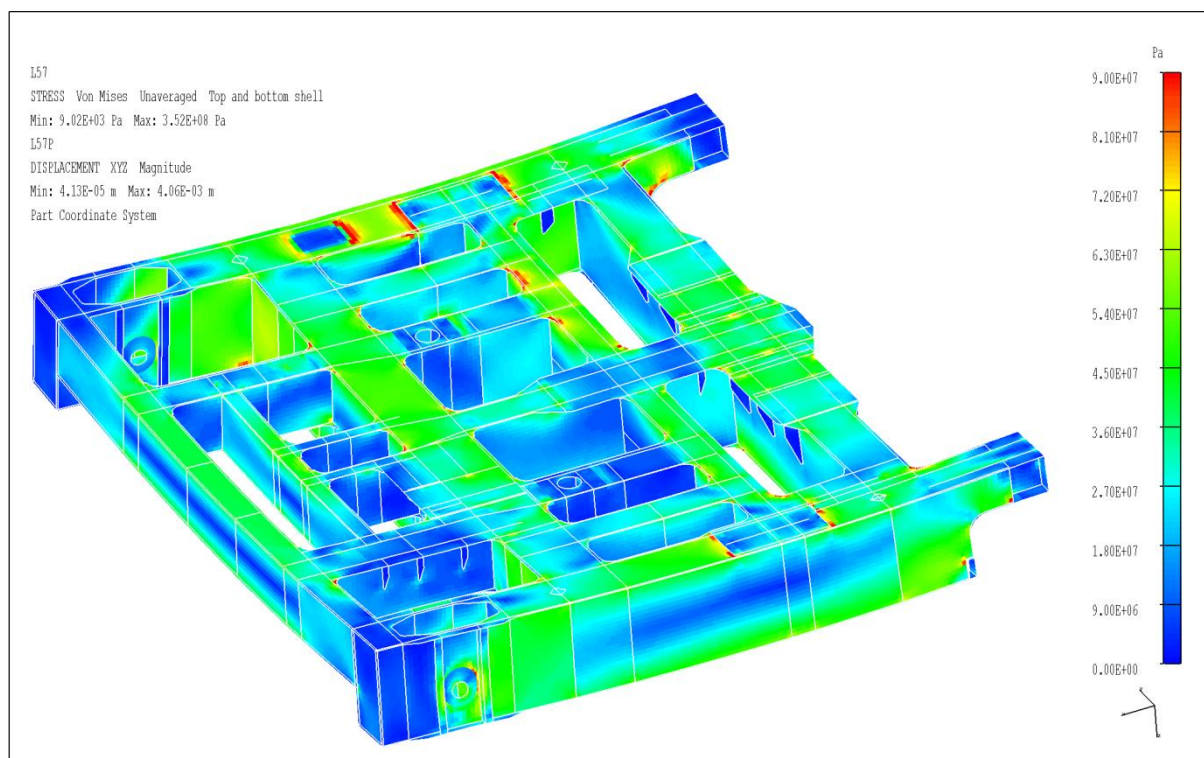
## Příloha 13

### Výsledky zátěžového stavu 12

#### Prutový model – scale factor:50



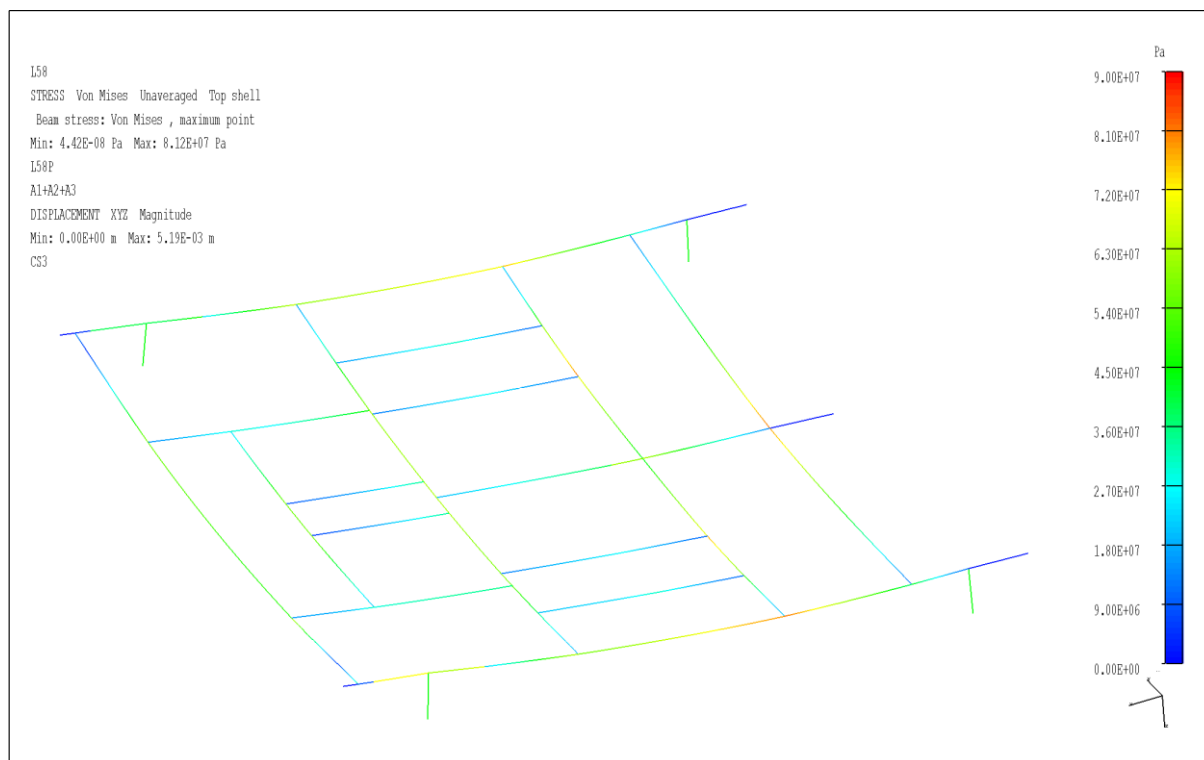
#### Skořepinový model – scale factor:50



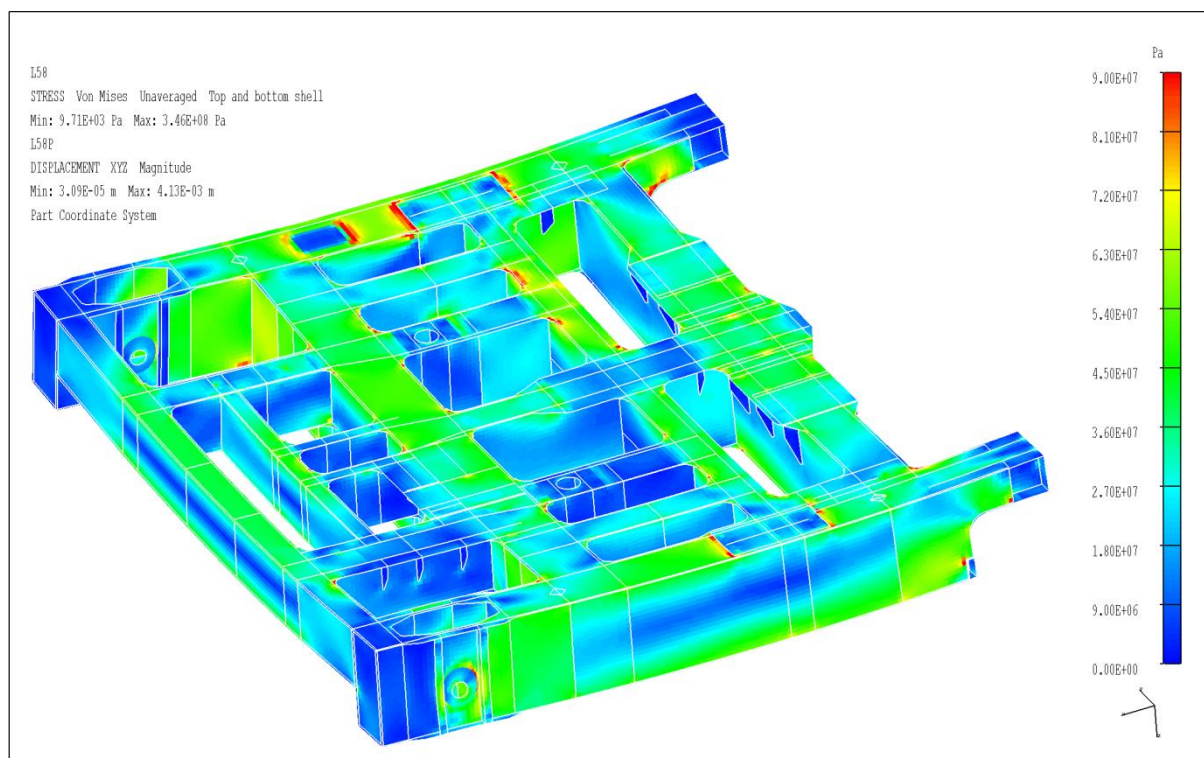
## Příloha 14

### Výsledky zátěžového stavu 13

#### Prutový model – scale factor:50



#### Skořepinový model – scale factor:50

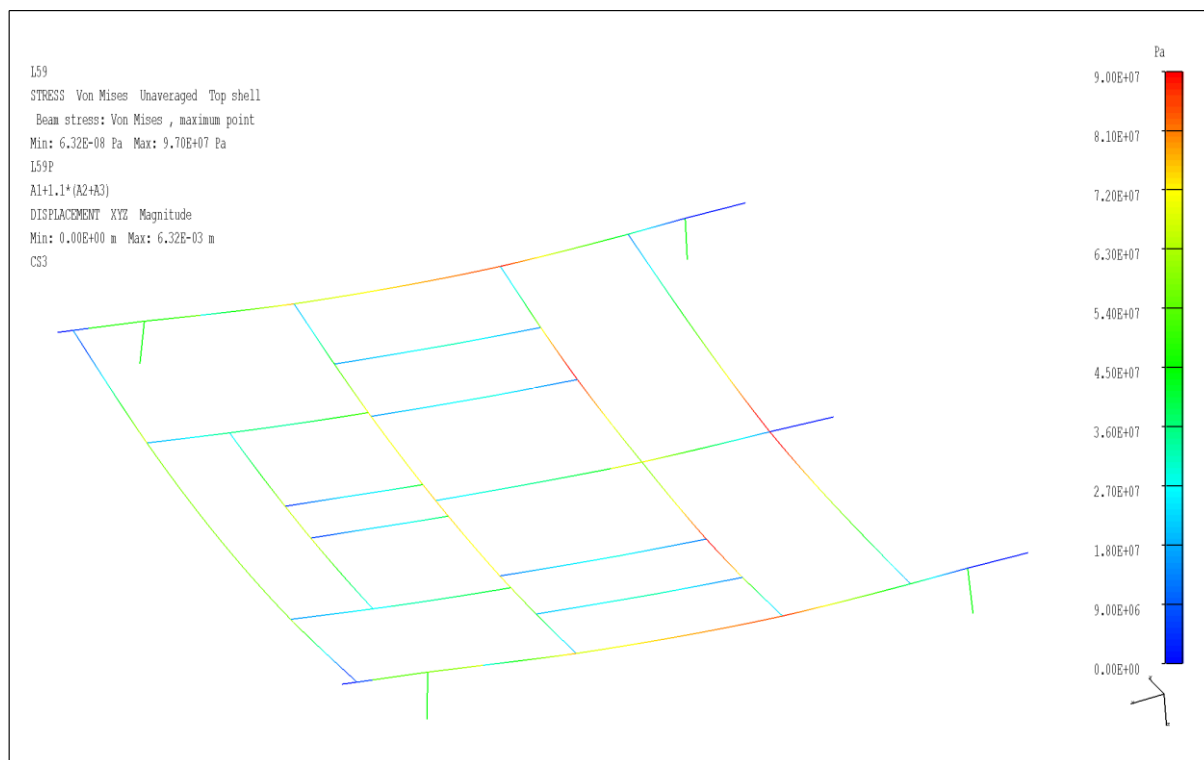




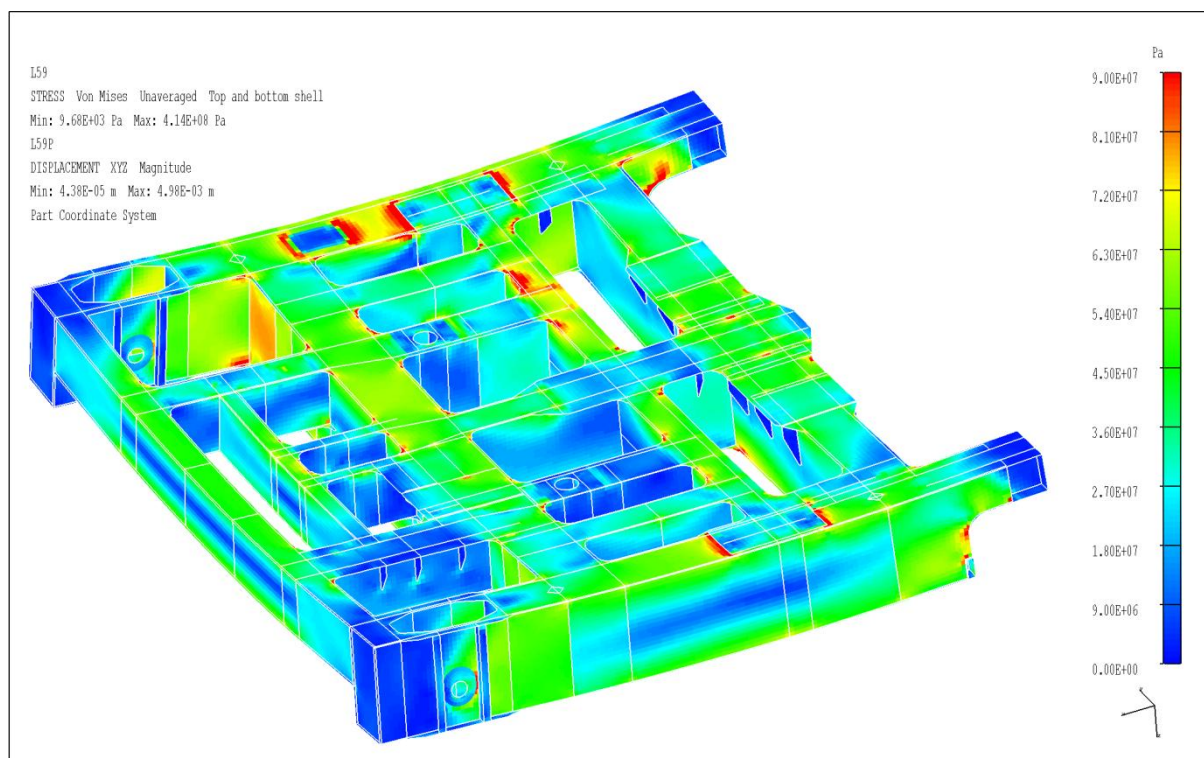
## Příloha 15

### Výsledky zátěžového stavu 14

#### Prutový model – scale factor:50



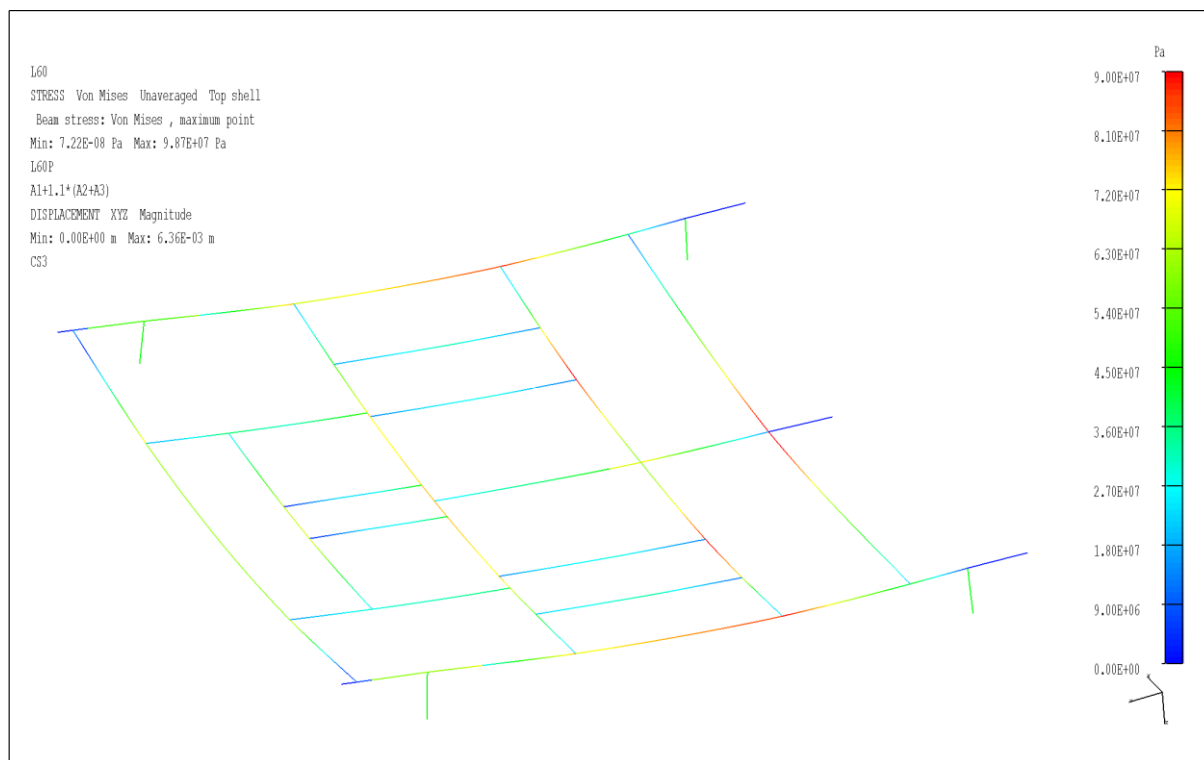
#### Skořepinový model – scale factor:50



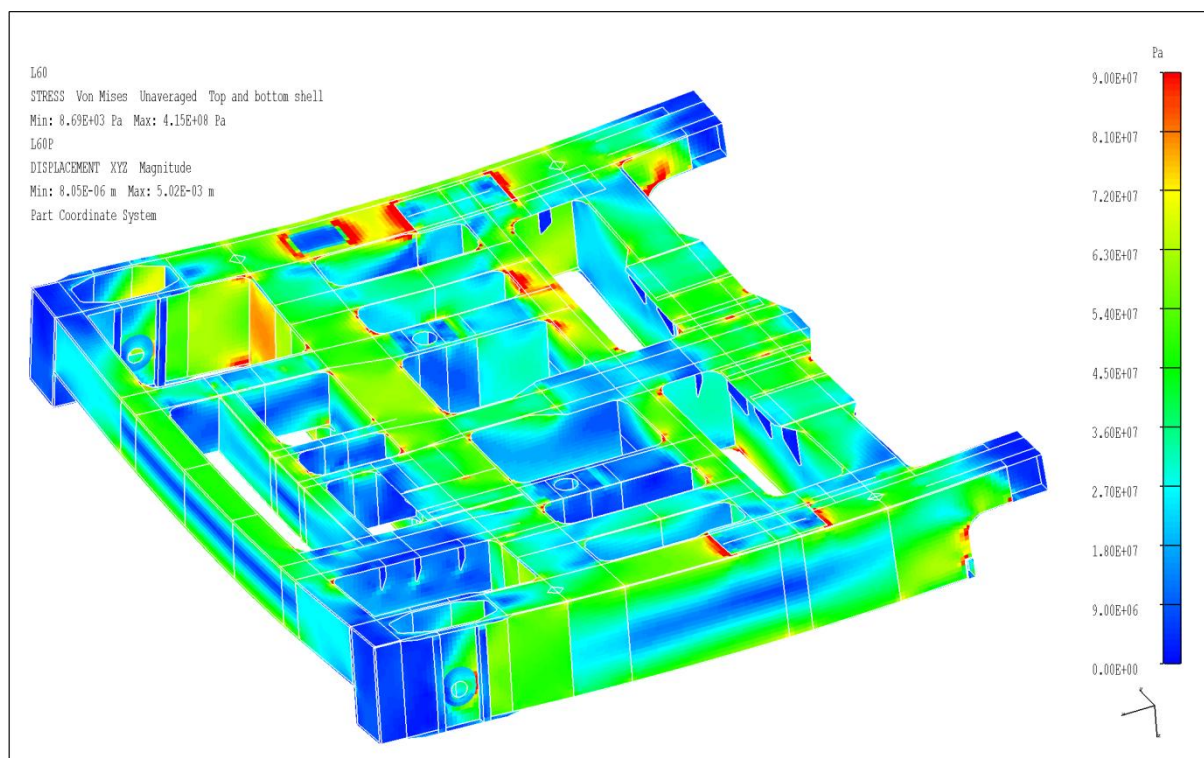
## Příloha 16

### Výsledky zátěžového stavu 15

#### Prutový model – scale factor:50



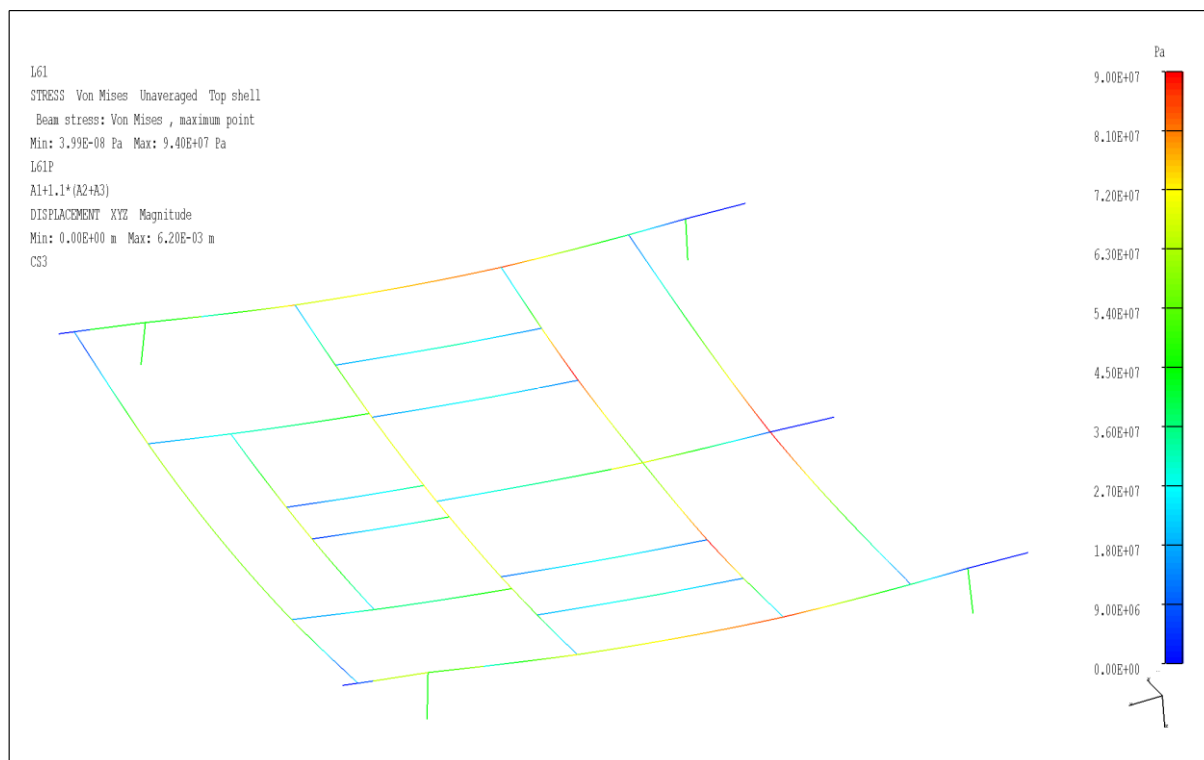
#### Skořepinový model – scale factor:50



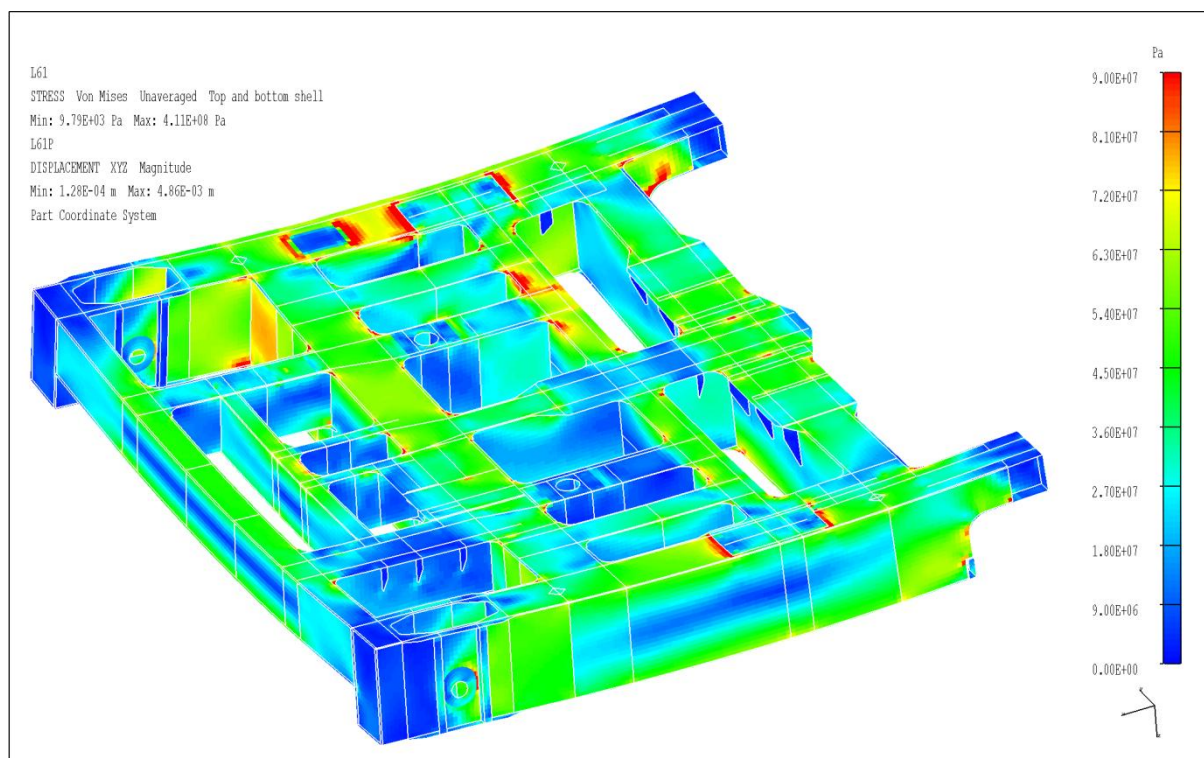
## Příloha 17

### Výsledky zátěžového stavu 16

#### Prutový model – scale factor:50



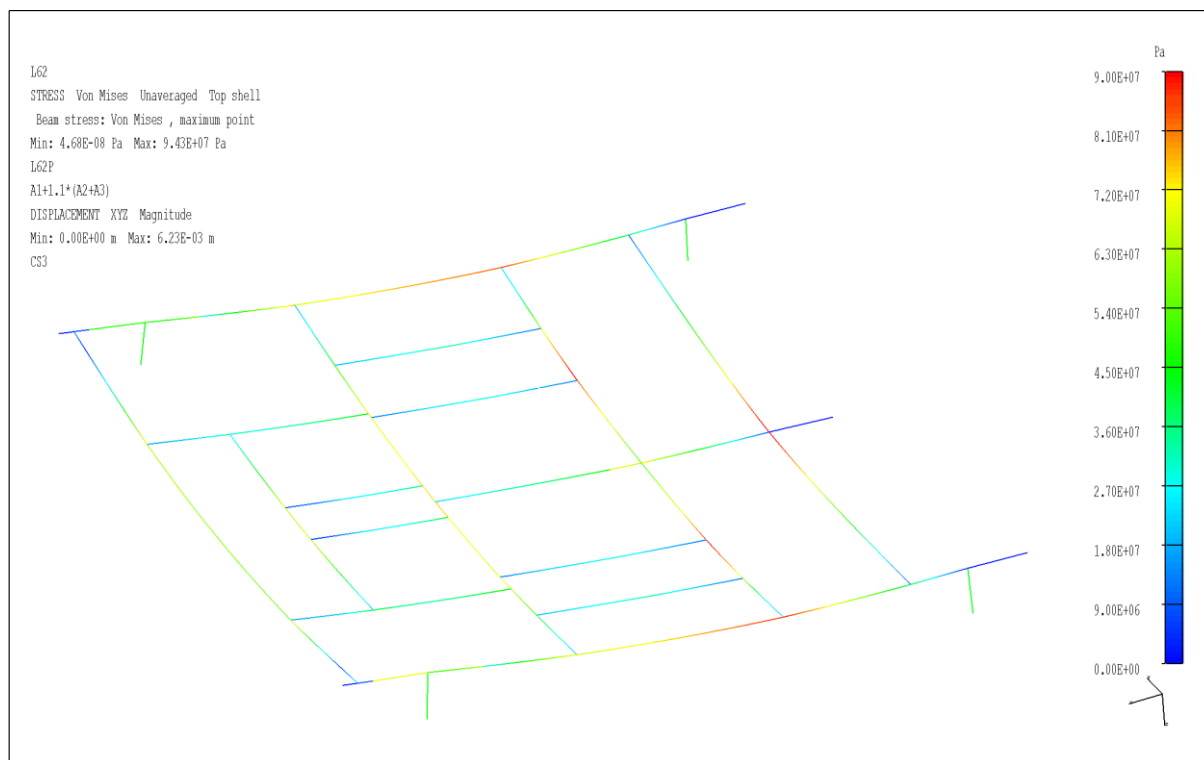
#### Skořepinový model – scale factor:50



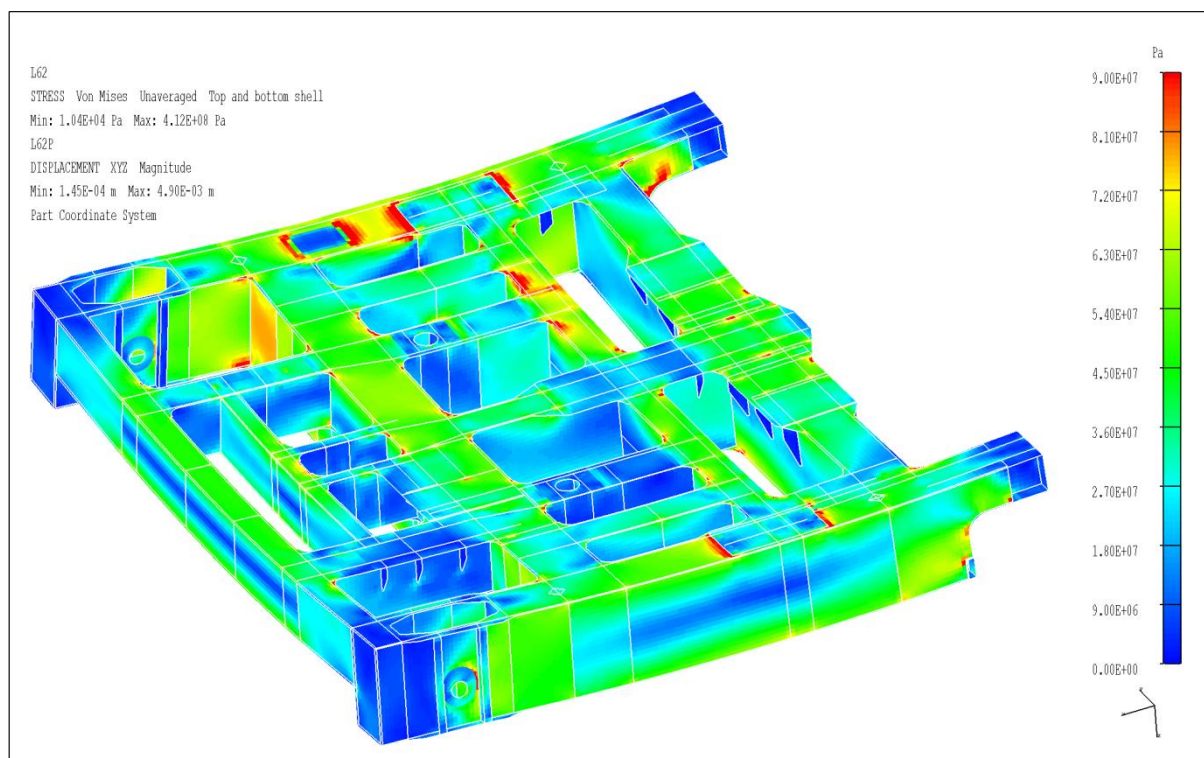
## Příloha 18

### Výsledky zátěžového stavu 17

#### Prutový model – scale factor:50



#### Skořepinový model – scale factor:50

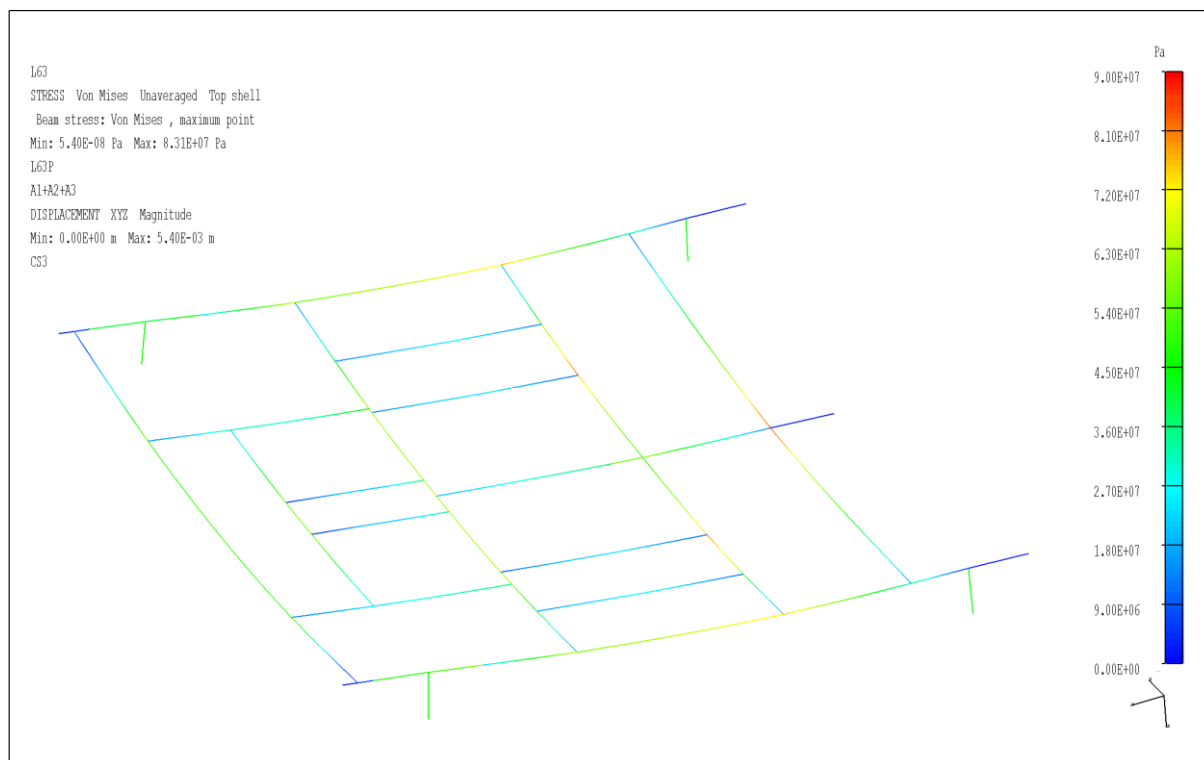




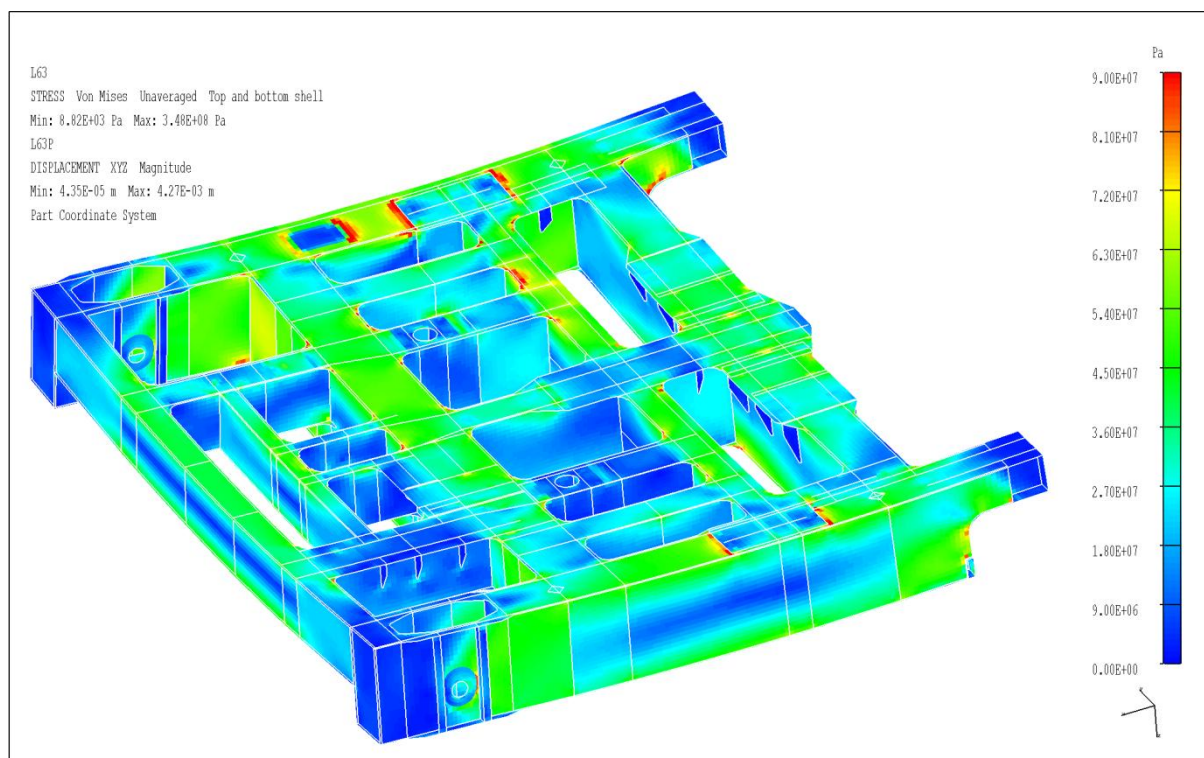
## Příloha 19

### Výsledky zátěžového stavu 18

#### Prutový model – scale factor:50



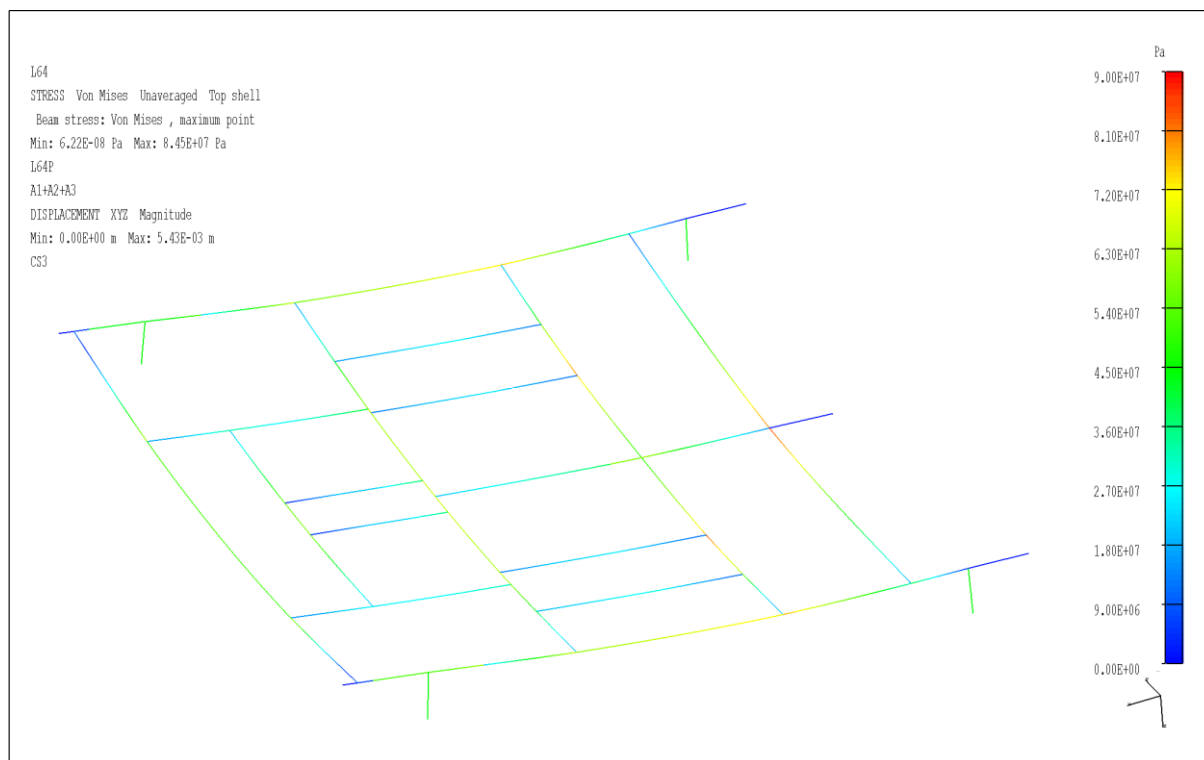
#### Skořepinový model – scale factor:50



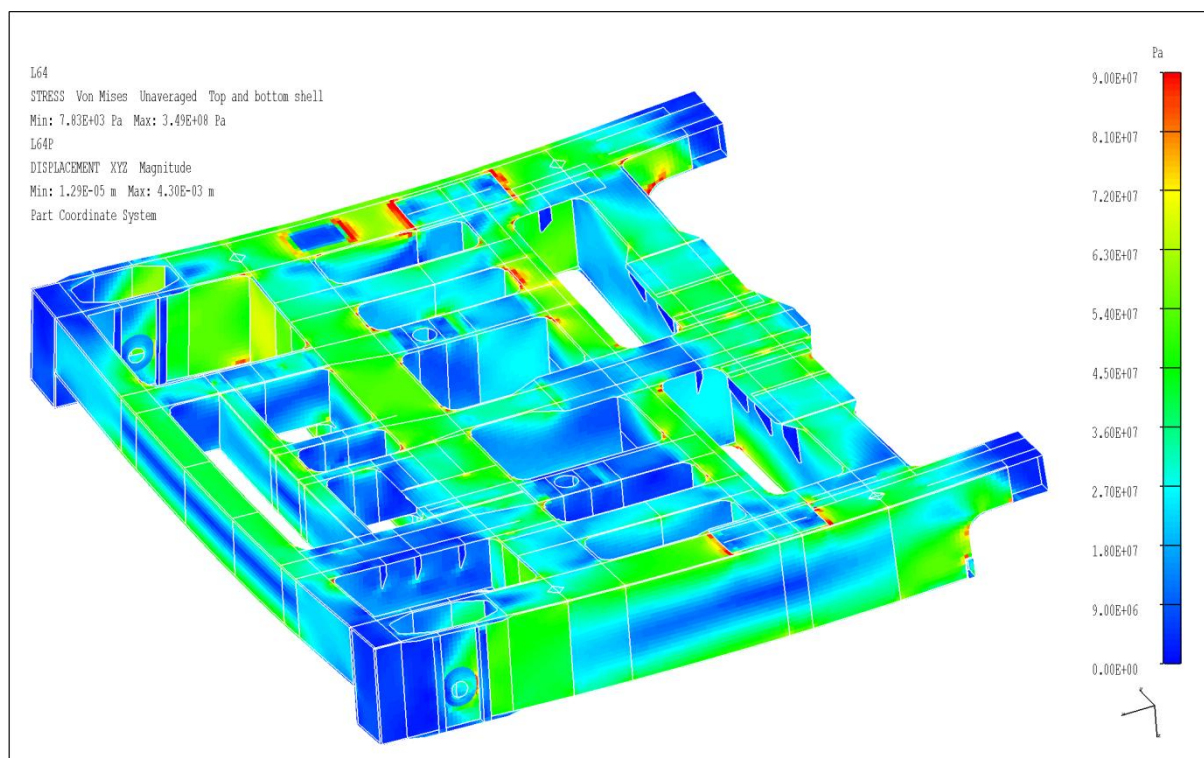
## Příloha 20

### Výsledky zátěžového stavu 19

#### Prutový model – scale factor:50



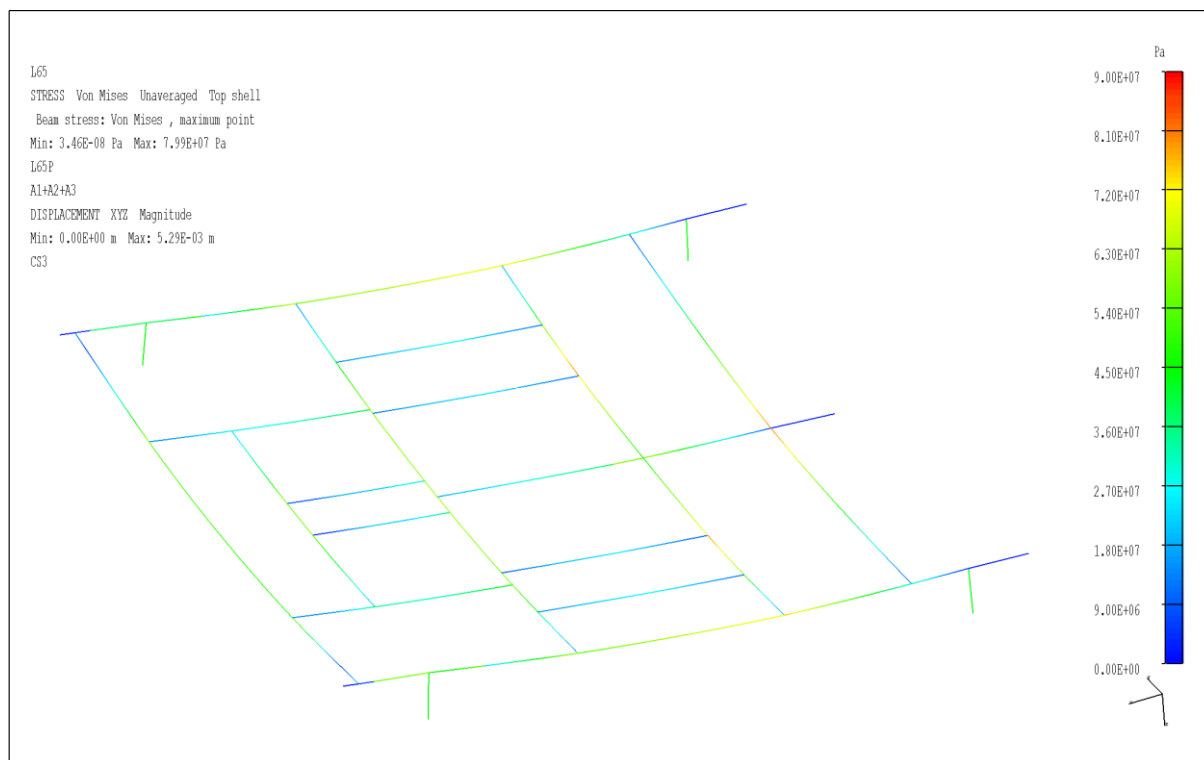
#### Skořepinový model – scale factor:50



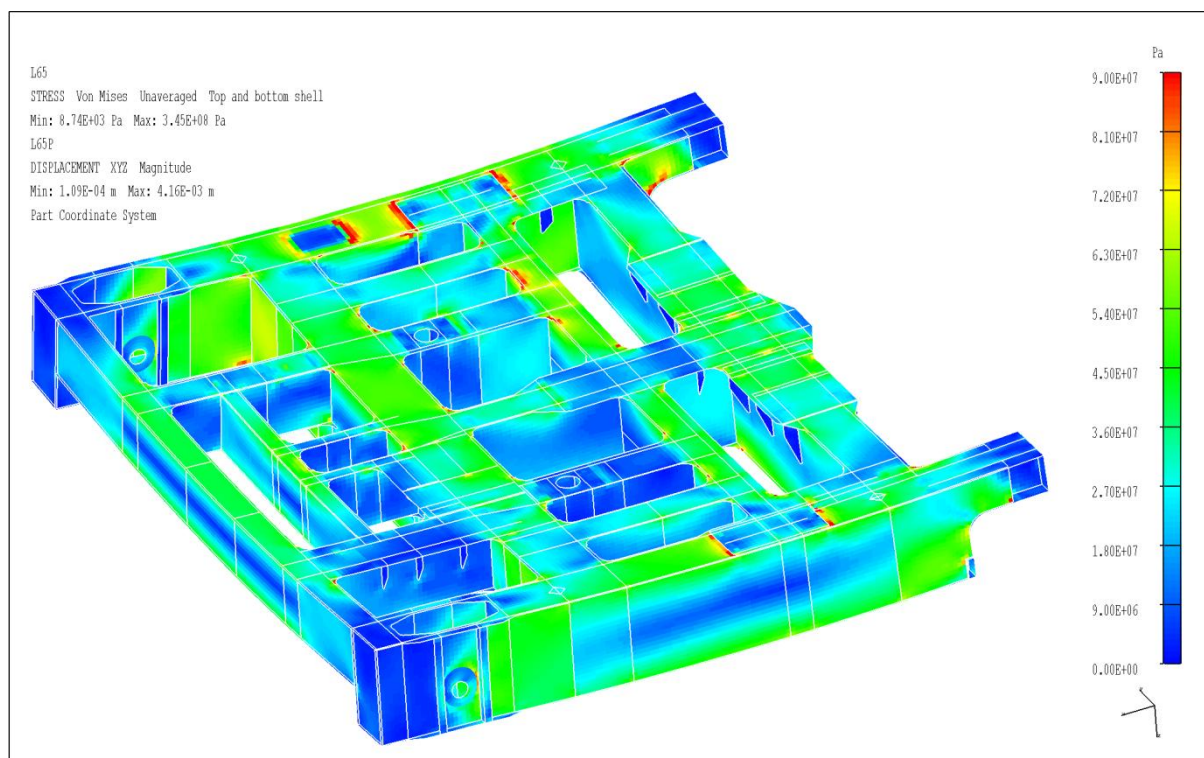
## Příloha 21

### Výsledky zátěžového stavu 20

#### Prutový model – scale factor:50



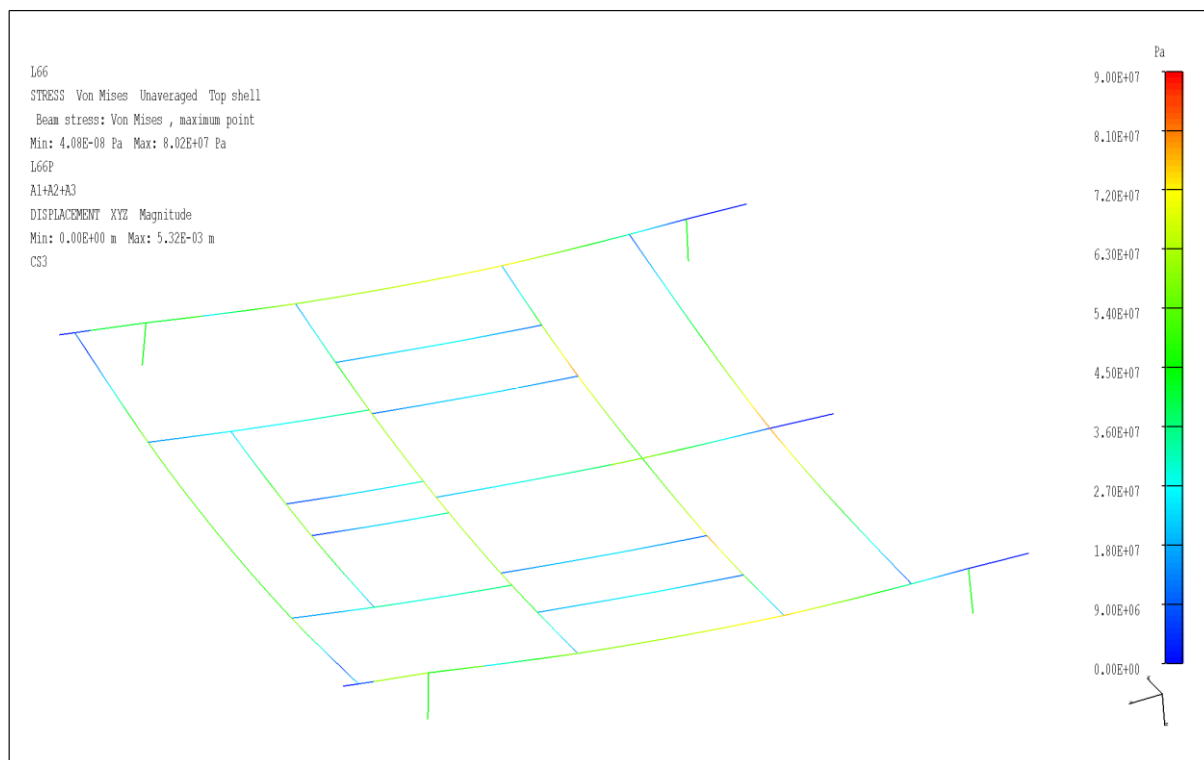
#### Skořepinový model – scale factor:50



## Příloha 22

### Výsledky zátěžového stavu 21

#### Prutový model – scale factor:50



#### Skořepinový model – scale factor:50

